

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DANILO HUNGARO MICHELETTI

IMPLEMENTAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NA  
MODALIDADE DE MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA: ESTUDO DE CASO

PALOTINA

2020

DANILO HUNGARO MICHELETTI

IMPLEMENTAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NA  
MODALIDADE DE MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA: ESTUDO DE CASO

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Bioenergia, Setor de Palotina, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Bioenergia.

Orientador: Prof. Dr. Joel Gustavo Teleken

PALOTINA

2020



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M623      Micheletti, Danilo Hungaro  
Implementação de energia solar fotovoltaica na modalidade  
de minigeração distribuída: estudo de caso / Danilo Hungaro  
Micheletti – Palotina, 2020.  
141f.

Orientador: Joel Gustavo Teleken  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná,  
Setor Palotina, Programa de Pós-graduação em Bioenergia.

1. Módulos fotovoltaicos. 2. Sustentabilidade. 3. Energia  
elétrica. 4. Energias renováveis. 5. Aspectos técnicos. I. Teleken,  
Joel Gustavo. II. Universidade Federal do Paraná. III. Título.

CDU 636.2



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR PALOTINA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO BIOENERGIA - UEL -  
UEM - UEPG - UNICENTRO - UNIOESTE - UFPR -  
40002012041P8

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em BIOENERGIA - UEL - UEM - UEPG - UNICENTRO - UNIOESTE - UFPR da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **DANILO HUNGARO MICHELETTI** intitulada: **IMPLEMENTAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NA MODALIDADE DE MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA : ESTUDO DE CASO**, sob orientação do Prof. Dr. JOEL GUSTAVO TELEKEN, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

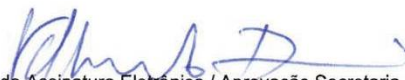
Palotina, 03 de Março de 2020.

  
Aguardando Assinatura Eletrônica / Aprovação Secretaria

JOEL GUSTAVO TELEKEN  
Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

  
Aguardando Assinatura Eletrônica / Aprovação Secretaria

PAULO ANDRE CREMONEZ  
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

  
Aguardando Assinatura Eletrônica / Aprovação Secretaria

EDUARDO LUCAS KONRAD BURIN  
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

*Dedico ao meu esposo que  
sempre está ao meu lado,  
inclusive nas horas mais difíceis.*



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente ao Deus e à Deusa por dar-me motivação e por guiar meu caminho. Agradeço aos meus anjos da guarda, que lutam todos os dias ao meu lado. Um agradecimento à Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de cursar esta pós-graduação. Agradeço ao meu professor orientador Dr. Joel, que esteve disposto a delinear esta pesquisa e a buscar o aperfeiçoamento deste trabalho. Agradeço também aos professores Dr. Maurício, Dr. André, Dr. Paulo e Dr. Eduardo por pontuarem este trabalho construtivamente. Deixo um agradecimento a meu pai Luiz e a minha mãe Rosinei, que auxiliaram em minha formação acadêmica. Ao meu esposo Igor, agradeço pela dedicação e empenho em me auxiliar no desenvolvimento deste estudo. Agradeço aos meus amigos e parceiros de trabalho Natiele e Agnaldo, pelo auxílio durante o desenvolvimento do projeto. Agradeço também ao apoio de minhas irmãs e de meus amigos que estiveram ao meu lado neste momento.

*Talvez algumas partículas se movam para trás no tempo; talvez o futuro afete o passado de alguma maneira que não compreendemos, ou talvez o universo simplesmente esteja mais consciente do que nós.*

**PHILIP PULLMAN**

## RESUMO

A conversão fotovoltaica de energia solar se difundiu devido ao avanço tecnológico na fabricação de seus equipamentos e pela versatilidade na construção de sistemas integrados em unidades consumidoras. Neste contexto, há um aumento no interesse na instalação de sistemas em agroindústrias em todo o país, visando economizar com energia elétrica e aumentar o fator de sustentabilidade dos empreendimentos. O objetivo geral proposto nesta pesquisa foi implementar um sistema de geração de energia solar fotovoltaica na modalidade de Minigeração Distribuída em indústria de laticínios. Assim, este trabalho expõe um estudo de caso das etapas do processo de implementação e conexão à rede deste sistema, incluindo dimensionamento, documentos de projeto, processo de homologação e análise de funcionamento. O projeto considerou o consumo elétrico no horário de fora ponta da fatura de energia, limitando a potência do sistema pela Demanda Contratada e pelas condições estruturais e de sombreamento. Foram utilizados módulos e inversores populares no Brasil, realizando um dimensionamento elétrico de acordo com as variações de tensão e corrente elétrica influenciadas pela temperatura. A estimativa de produtividade foi realizada através de ferramentas livres com dados de irradiação do Atlas Solar Paraná. O sistema gerador foi projetado e instalado seguindo as recomendações dos fabricantes e experiências prévias. Foram expostas as etapas do processo de homologação e vistoria do sistema, ao passo que os registros técnicos da instalação também fizeram parte dos resultados. O estudo alcançou seu objetivo principal através do sucesso com a vistoria da companhia de energia, garantindo a efetivação do sistema fotovoltaico. Durante os testes com o sistema em funcionamento, não se detectou sobretensão ou elevação de temperatura nos cabeamentos e dispositivos. Do total de energia produzida pelo sistema, 78% foi consumido pelas cargas internas do laticínio e o excedente foi enviado à rede para compensação no faturamento, observando-se uma economia de 54% com a fatura de energia. Sendo assim, a pesquisa se fez importante por elucidar os aspectos técnicos de homologação e funcionamento do sistema fotovoltaico conectado à rede com potência instalada superior a 75 kW, presentes nas regulamentações normativas brasileiras junto das normas técnicas da companhia elétrica local.

Palavras-chave: Módulos fotovoltaicos. Sustentabilidade. Energia elétrica. Energias renováveis. Aspectos técnicos.



## ABSTRACT

The photovoltaic conversion of solar energy has spread due to technological advances in the manufacture of its equipment and due to the versatility in the construction of integrated systems in electric consumer units. In this context, there is an increase in interest about the installation of systems in agro-industries across the country, aiming to save on electricity and increase the sustainability factor of the companies. The general objective proposed in this research was to implement a photovoltaic solar energy generation system in the form of Distributed Mini Generation in a dairy industry. Therefore, this work exposes a case study of the stages of the implementation process and connection to the network of this system, including dimensioning, project documents, homologation process and analysis of operation. The project considered electrical consumption during off-peak hours of the energy bill, limiting the system's power by the Contracted Demand and by the structural and shading conditions. Modules and inverters popular in Brazil were used, performing an electrical sizing according to the variations of voltage and electric current influenced by the temperature. The productivity estimative was performed using free tools with irradiation data from Atlas Solar Paraná. The generator system was designed and installed following the manufacturers' recommendations and previous experiences. The stages of the approval and inspection process of the system were exposed, the technical records of the installation are also part of the results. During tests with the system in operation, no overvoltage or over temperature was detected in the wiring and devices. The study achieved its main objective through success with the inspection of the energy company, ensuring the effectiveness of the photovoltaic system. From the total energy produced by the system, 78% was consumed by the dairy internal loads and the surplus was sent to the network for billing compensation, observing a saving of 54% with the energy bill. Therefore, the research was important for elucidating the technical aspects of homologation and operation of the photovoltaic system connected to the grid with installed power greater than 75 kW, present in the Brazilian regulations together with the technical standards of the local electricity company.

**Keywords:** Photovoltaic modules. Sustainability. Electricity. Renewable energy. Technical aspects.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA EM MARÇO DE 2020 .....	22
FIGURA 2 - MAPA DA IRRADIAÇÃO SOLAR HORIZONTAL GLOBAL NO BRASIL .....	24
FIGURA 3 - POTÊNCIA INSTALADA EM MW POR FONTE ENERGÉTICA EM GD NO BRASIL ATÉ JANEIRO DE 2020 .....	31
FIGURA 4 - NÚMERO DE CONEXÕES DO TIPO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM GD POR ANO ATÉ 2019.....	32
FIGURA 5 - CLASSES DE CONSUMO DOS CONSUMIDORES CONECTADOS EM GD NO BRASIL ATÉ JANEIRO DE 2020 .....	32
FIGURA 6 - POSIÇÕES RELATIVAS DO SISTEMA TERRA-SOL DURANTE UMA REVOLUÇÃO TERRESTRE COMPLETA AO REDOR DO SOL.....	34
FIGURA 7 - VALORES DA DECLINAÇÃO SOLAR DURANTE EQUINÓCIOS E SOLSTÍCIOS.....	34
FIGURA 8 - COMPONENTES DA RADIAÇÃO SOLAR.....	35
FIGURA 9 - TRAJETÓRIA DA RADIAÇÃO SOLAR NA ATMOSFERA .....	36
FIGURA 10 - POSICIONAMENTO DOS MÓDULOS DE ENERGIA SOLAR.....	37
FIGURA 11 – MAPA MUNDIAL DA IRRADIAÇÃO SOLAR GLOBAL HORIZONTAL .....	38
FIGURA 12 - IMAGEM EM MICROSCOPIA ÓTICA DO SILÍCIO POLICRISTALINO .....	39
FIGURA 13 - PRINCIPAIS ETAPAS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CÉLULAS BIFACIAIS DE ENERGIA SOLAR.....	40
FIGURA 14 - EFEITO FOTOVOLTAICO MOVIMENTANDO OS ELÉTRONS E AS LACUNAS NA CÉLULA SOLAR .....	41
FIGURA 15 - PROPORÇÃO DA PRODUÇÃO MUNDIAL POR TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA.....	42
FIGURA 16 - CAMADAS DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO .....	43
FIGURA 17 - CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE CORRENTE, TENSÃO E POTÊNCIA DE UMA CÉLULA SOLAR DE 0,45 WP.....	45
FIGURA 18 - MAPA DO POTENCIAL FOTOVOLTAICO MUNDIAL.....	48
FIGURA 19 - RESIDÊNCIA COM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONTENDO QUATRO STRINGS INSTALADO EM GD .....	49

FIGURA 20 - INVERSOR FOTOVOLTAICO COM PROTEÇÕES EXTERNAS .....	51
FIGURA 21 - PAINEL FÍSICO DE UM INVERSOR FRONIUS, A) LEDS INDICATIVOS DE STATUS, B) DISPLAY, C) BOTÕES DE NAVEGAÇÃO .....	52
FIGURA 22 - ETAPAS DO PROCEDIMENTO DE HOMOLOGAÇÃO EM GD.....	55
FIGURA 23 - FLUXOGRAMA LÓGICO DAS ETAPAS DE OBSERVAÇÃO .....	58
FIGURA 24 - IMAGEM AÉREA DA INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS .....	59
FIGURA 25 – ITENS DO PADRÃO DE ENTRADA DA UC: A) POSTE COM TRANSFORMADOR; B) TCS; C) DISJUNTOR TRIFÁSICO; D) MEDIÇÃO E TELEMEDIÇÃO; E) DPS.....	59
FIGURA 26 - CONSUMO ENERGÉTICO DE PONTA E DE FORA PONTA DO LATICÍNIO.....	60
FIGURA 27 - DEMANDA CONTRATADA E UTILIZADA DO LATICÍNIO.....	61
FIGURA 28 - MÓDULO FOTOVOLTAICO UTILIZADO .....	62
FIGURA 29 - INVERSOR FOTOVOLTAICO UTILIZADO .....	63
FIGURA 30: MÉDIAS DE IRRADIAÇÃO GLOBAL HORIZONTAL EM NOVA CANTU, PR. ....	68
FIGURA 31: SOFTWARE RADIASOL. ....	68
FIGURA 32 - PRODUTIVIDADE FOTOVOLTAICA MENSAL PARA A CIDADE DE NOVA CANTU - PR.....	70
FIGURA 33 - INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NAS TENSÕES E COMPARAÇÃO COM OS PARÂMETROS LIMITES DO INVERSOR.....	73
FIGURA 34 - INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NAS CORRENTES E COMPARAÇÃO COM OS PARÂMETROS LIMITES DO INVERSOR.....	74
FIGURA 35 - DIMENSIONAMENTO DO FRONIUS SOLAR CONFIGURATOR 4.0.....	75
FIGURA 36 – CONECTORES MC4 PARA ENERGIA SOLAR .....	76
FIGURA 37 – PARTE INTERNA DO INVERSOR: A) FUSÍVEIS; B) CHAVE SECCIONADORA; C) DPS CC; D) BORNES CC; E) BORNES CA .....	76
FIGURA 38 – DISJUNTOR CA E DPS.....	77
FIGURA 39 – DIAGRAMA DE CONEXÃO DE INVERSOR TRIFÁSICO EM REDE 220 V.....	78
FIGURA 40 – PARTE INTERNA DO AUTOTRANSFORMADOR.....	79
FIGURA 41 – DESENHO SIMPLIFICADO CONTENDO A DISPOSIÇÃO DOS MÓDULOS DE CADA ARRANJO FOTOVOLTAICO SOBRE OS TELHADOS .....	80
FIGURA 42 - ORIENTAÇÕES AZIMUTAIS DOS TELHADOS EXISTENTES .....	81



FIGURA 43 – RECOMENDAÇÃO DO POSICIONAMENTO DOS INVERSORES....	81
FIGURA 44 – DISPOSIÇÃO FINAL DOS INVERSORES E ITENS CA .....	82
FIGURA 45 – DISPOSIÇÃO FINAL DOS ARRANJOS FOTOVOLTAICOS.....	82
FIGURA 46 – GRÁFICO DA ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO ENERGÉTICA MENSAL DO SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	84
FIGURA 47 – PARTE DO DIAGRAMA UNIFILAR CONTENDO DETALHES DA ENTRADA.....	88
FIGURA 48 – PARTE CA DO DIAGRAMA UNIFILAR .....	89
FIGURA 49 – PARTE CC DO DIAGRAMA UNIFILAR.....	89
FIGURA 50 – PORTAL DE PROJETOS PEW COPEL.....	91
FIGURA 51 – EMAIL COM A APROVAÇÃO DO PROJETO.....	92
FIGURA 52 – DISJUNTOR DO PADRÃO DE ENTRADA COM BORNES INFERIORES CORRIGIDOS .....	94
FIGURA 53 – PLACA DE ADVERTÊNCIA PARA GD DA COPEL.....	94
FIGURA 54 – TCS PARA MEDIÇÃO INDIRETA.....	96
FIGURA 55 – PLACA DE ADVERTÊNCIA FIXADA NA MEDIÇÃO .....	97
FIGURA 56 - CONFIGURAÇÃO DE CONEXÃO DOS INVERSORES NA INTERNET .....	98
FIGURA 57 – MONITORAMENTO DO SISTEMA.....	100
FIGURA 58 – POTÊNCIA E TENSÃO CC DE UM INVERSOR EM DIA ENSOLARADO .....	100
FIGURA 59 – PROPORÇÃO DE CONSUMO NO TRIMESTRE CONSIDERADO .	102
FIGURA 60 – COMPARATIVO DA GERAÇÃO MENSAL DO SISTEMA DO ESTIMADO COM O REAL PRODUZIDO DURANTE O TRIMESTRE .....	103
FIGURA 61 – FATURAMENTO E ECONOMIA CALCULADA DO TRIMESTRE CONSIDERADO.....	104

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - MARCOS LEGAIS DAS POLÍTICAS DE GD .....	30
QUADRO 2 - CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DO MÓDULO FOTOVOLTAICO ..	62
QUADRO 3 - CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DO INVERSOR .....	64
QUADRO 4 – EXEMPLOS DE FATORES DE PROPORÇÃO DE GERAÇÃO CONFORME A ORIENTAÇÃO E INCLINAÇÃO PARA A CIDADE DE NOVA CANTU .....	69
QUADRO 5 - COEFICIENTES DE VARIAÇÃO DE CORRENTE E TENSÃO NAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS DE ACORDO COM A TEMPERATURA.....	71
QUADRO 6 - TENSÃO DE CIRCUITO ABERTO E TENSÃO DE MÁXIMA POTÊNCIA DE CADA ARRANJO FOTOVOLTAICO E SUA VARIAÇÃO COM INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA .....	72
QUADRO 7 - CORRENTE DE CURTO CIRCUITO DE CADA ARRANJO FOTOVOLTAICO E SUA VARIAÇÃO COM INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA.....	72
QUADRO 8 – ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO ENERGÉTICA MENSAL DE CADA ARRANJO FOTOVOLTAICO E DO TOTAL.....	83
QUADRO 9 – DESCRIÇÃO DOS ITENS QUE COMPÕEM O MEMORIAL DESCRIPTIVO .....	87
QUADRO 10 – RESUMO DA ENERGIA PRODUZIDA E FATURADA NO TRIMESTRE .....	102
QUADRO 11 – RESUMO DOS ITENS FATURADOS NO TRIMESTRE CONSIDERADO.....	104

## LISTA DE SIGLAS

AM	- Massa de ar (Air Mass)
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
ART	- Anotação de Responsabilidade Técnica
AVA	- Agência Virtual do Grupo A (Copel)
CA	- De corrente alternada
CC	- De corrente contínua
CNPJ	- Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica
CO <sub>2</sub>	- Dióxido de carbono
COFINS	- Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONFEA	- Conselho Federal de Engenharia e Agronomia
COPEL	- Companhia Paranaense de Energia
CPF	- Cadastro de Pessoa Física
CREA	- Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura
DPS	- Dispositivo de Proteção contra Surto
EMATER	- Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural
EVA	- Encapsulante de módulo fotovoltaico ( <i>Ethylene Vinyl Acetate</i> )
GD	- Geração Distribuída
GDER	- Grupo de Desenvolvimento em Energias Renováveis
IAP	- Instituto Ambiental do Paraná
ICMS	- Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IN	- Conexão de entrada
INMETRO	- Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
LED	- Diodo emissor de luz
MC4	- Conectores fotovoltaicos tipo 4 da <i>Multi-Contact</i>
MPPT	- Rastreamento do Ponto de Máxima Potência (fotovoltaico)
n	- Negativo (elétrico)
NBR	- Normas Brasileiras
NTC	- Norma Técnica Copel
OUT	- Conexão de saída
p	- Positivo (elétrico)
PCH	- Pequena Central Hidrelétrica



PEW	- Projeto Elétrico Web (Copel)
PIS	- Programas de Integração Social (imposto)
PRODIST	- Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
RN	- Resolução Normativa
RS232	- Comunicação serial do tipo 232
RS485	- Comunicação serial do tipo 485
STC	- Condições Padrão de Teste (fotovoltaico)
TC	- Transformador de corrente
TT	- Aterramento com terra e neutro separados
UC	- Unidade Consumidora
USB	- Conexão de periféricos de informática ( <i>Universal Serial Bus</i> )
UV	- Ultravioleta
Wi-Fi	- Sinônimo para a tecnologia de comunicação sem fio IEEE 802.11

## LISTA DE GRANDEZAS

$d_m$	- Quantidade de dias no mês analisado
$e$	- Carga elementar
$E_{FV}$	- Energia fotovoltaica
$FF$	- Fator de Preenchimento ( <i>Fill Factor</i> – fotovoltaico)
$f_{prop}$	- Fator de proporção de geração
$G$	- Irradiância solar total
$I$	- Corrente elétrica
$I_{mp}$	- Corrente de máxima potência (fotovoltaica)
$I_o$	- Corrente elétrica de saturação reversa
$I_{sc}$	- Corrente elétrica de curto circuito
$J$	- Densidade de corrente elétrica
$k_B$	- Constante de Boltzmann
$n$	- Número de células
$n_s$	- Número de <i>strings</i>
$\eta$	- Rendimento da célula fotovoltaica
$P_{FV}$	- Potência fotovoltaica
$P_{in}$	- Potência de entrada
$P_{mp}$	- Potência de pico ou nominal (fotovoltaica)
$Prod$	- Produtividade fotovoltaica diária (fotovoltaica)
$T_a$	- Temperatura do ambiente
$T_c$	- Temperatura da célula
$TD$	- Taxa de Desempenho (fotovoltaica)
$V$	- Tensão elétrica
$V_{mp}$	- Tensão de máxima potência (fotovoltaica)
$V_{oc}$	- Tensão de circuito aberto (fotovoltaica)
$\alpha$	- Coeficiente de variação da corrente de curto circuito em STC
$\alpha_{mp}$	- Coeficiente de variação da corrente de máxima potência em STC
$\beta$	- Coeficiente de variação da tensão de circuito aberto em STC
$\beta_{mp}$	- Coeficiente de variação da tensão de máxima potência em STC
$\gamma$	- Coeficiente de temperatura para potência (fotovoltaico)
$\delta_s$	- Declinação solar

## LISTA DE UNIDADES

A	- Ampere (corrente elétrica)
C	- Celsius (temperatura)
cm	- Centímetro
GW	- Gigawatt (potência)
Hz	- Hertz (frequência elétrica)
K	- Kelvin (temperatura)
kV	- Kilovolt (tensão elétrica)
kVA	- Kilovolt-Ampere (potência elétrica aparente)
kW	- Kilowatt (potência elétrica)
kWh	- Kilowatt-hora (energia)
kWh/kWp	- Kilowatt-hora por Kilowatt-pico (energia por potência instalada)
kWh/kWp.dia	- Kilowatt-hora por Kilowatt-pico por dia (produtividade fotovoltaica diária)
kWh/mês	- Kilowatt-hora por mês (energia)
kWp	- Kilowatt-pico (potência fotovoltaica)
mm	- Milímetro
MW	- Megawatt (potência elétrica)
R\$	- Reais (moeda brasileira)
V	- Volt (tensão elétrica)
W/m <sup>2</sup>	- Watt-hora por metro quadrado (irradiância solar)
Wh/m <sup>2</sup> .dia	- Watt-hora por metro quadrado-dia (irradiação solar)
Wp	- Watt-pico (potência fotovoltaica)
yJ/V	- Yottajoule por Volt
zJ/K	- Zetajoule por Kelvin

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1	CONTEXTO .....	16
1.2	PROBLEMÁTICA .....	17
1.3	HIPÓTESE .....	18
1.4	A PESQUISA.....	18
1.5	OBJETIVOS .....	19
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>20</b>
2.1	CONTEXTO BRASILEIRO .....	20
2.1.1	Promoção da Sustentabilidade.....	20
2.1.2	Setor Elétrico.....	21
2.1.3	Potencial Solar .....	23
2.1.4	Geração Distribuída .....	25
2.1.5	Expansão Fotovoltaica em GD.....	30
2.2	CONCEITOS DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA .....	33
2.2.1	Radiação Solar e Movimentos Astronômicos.....	33
2.2.2	Componentes da Radiação Solar e Posicionamento .....	35
2.2.3	Células Solares e Efeito Fotovoltaico.....	38
2.2.4	Módulos Fotovoltaicos Comerciais.....	42
2.2.5	Características Elétricas das Células e dos Módulos Fotovoltaicos.....	44
2.2.6	Arranjos Fotovoltaicos e Produtividade .....	47
2.2.7	Inversores Fotovoltaicos e Processamentos de <i>MPPT</i> .....	50
2.3	HOMOLOGAÇÃO DE PROJETO EM GD .....	53
2.4	LEGISLAÇÃO AMBIENTAL PARANAENSE PARA ENERGIA SOLAR .....	55
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>57</b>
3.1	METODOLOGIA DA PESQUISA .....	57
3.2	ORGANIZAÇÃO EM ETAPAS DA PESQUISA EXPLORATÓRIA .....	57
3.3	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE CONSUMIDORA.....	58
3.4	COMPOSIÇÃO DO SISTEMA GERADOR.....	61
3.5	CÁLCULO DO EFEITO DA TEMPERATURA SOBRE OS MÓDULOS .....	65
3.6	TEMPERATURAS CONSIDERADAS NA ANÁLISE .....	66
3.7	CÁLCULO DA PRODUÇÃO ENERGÉTICA.....	67
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>71</b>



4.1	DIMENSIONAMENTO ELÉTRICO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	71
4.1.1	Strings Fotovoltaicas e Inversores .....	71
4.1.2	Conexão e Proteção.....	75
4.1.3	Disposição do Equipamento.....	79
4.1.4	Produtividade do Sistema Gerador .....	83
4.2	PROCESSO DE HOMOLOGAÇÃO EM MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....	84
4.2.1	Solicitação de acesso.....	84
4.2.2	Anotação de Responsabilidade Técnica .....	85
4.2.3	Cronograma de Implantação e Expansão .....	86
4.2.4	Memorial Descritivo do Projeto Elétrico.....	86
4.2.5	Diagramas de Blocos e Unifilar .....	88
4.2.6	Certificação dos Inversores .....	90
4.2.7	Dados para Processo de Registro de Central Geradora na ANEEL .....	90
4.2.8	Inexigibilidade de Licença Ambiental .....	90
4.2.9	Envio e Aprovação do Projeto .....	91
4.2.10	Adequações do Padrão de Entrada da UC .....	93
4.2.11	Vistoria do Sistema .....	95
4.3	VERIFICAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO SISTEMA .....	97
4.3.1	Coleta de Dados do Sistema.....	97
4.3.2	Detalhes Sobre a Geração.....	99
4.3.3	Resumo de Produção e Faturamento do Período Considerado.....	101
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>106</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>107</b>
	<b>APÊNDICE 1 – FORMULÁRIO DE SOLICITAÇÃO DE ACESSO .....</b>	<b>114</b>
	<b>APÊNDICE 2 – ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA CREA-PR ....</b>	<b>115</b>
	<b>APÊNDICE 3 – CRONOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO E EXPANSÃO .....</b>	<b>116</b>
	<b>APÊNDICE 4 – MEMORIAL DESCRITIVO.....</b>	<b>117</b>
	<b>APÊNDICE 5 – DIAGRAMA DE BLOCOS E UNIFILAR.....</b>	<b>126</b>
	<b>APÊNDICE 6 – DADOS PARA REGISTRO NA ANEEL .....</b>	<b>130</b>
	<b>APÊNDICE 7 – CHECKLIST PARA SOLICITAR VISTORIA .....</b>	<b>131</b>
	<b>ANEXO 1 – CERTIFICAÇÃO DOS INVERSORES .....</b>	<b>133</b>
	<b>ANEXO 2 – RELATÓRIO DE VISTORIA COPEL .....</b>	<b>134</b>
	<b>ANEXO 3 – FATURAS DE ENERGIA DO TRIMESTRE CONSIDERADO .....</b>	<b>136</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTO

A energia elétrica tornou-se um dos pilares fundamentais da sociedade contemporânea, permeando todos seus setores e fazendo-se necessária para o desenvolvimento das atividades humanas. Com os impactos ambientais afetando diretamente a sociedade, o incentivo à utilização de fontes energéticas ambientalmente conscientes tem ganhado força nesta última década (HINRICHS, 2010).

Neste sentido, a qualidade de vida da população mundial pode melhorar junto ao crescimento econômico sustentável através do uso planejado e eficiente dos recursos energéticos disponíveis e do desenvolvimento de novas tecnologias de geração de energia (HINRICHS, 2010).

Constata-se que hoje a tecnologia fotovoltaica está em ritmo crescente de comercialização no mundo. Foi após a década de 70 que, devido à crise do petróleo, se iniciou a utilização de células fotovoltaicas para geração terrestre de energia elétrica em maior escala. Assim, a energia solar é uma fonte de energia inesgotável e, deste modo, mostra-se como um dos elementos essenciais para o futuro do uso energético sustentável (TOLMASQUIM, 2003).

Dentre as formas de aproveitamento da luz solar, a conversão fotovoltaica de energia solar tem se difundido devido ao avanço tecnológico na fabricação dos equipamentos e pela versatilidade na construção de sistemas integrados em unidades consumidoras ou de usinas de produção em larga escala (EUROPEAN COMMISSION, 2009).

No Brasil, a modalidade de Geração Distribuída (GD) foi regulamentada em 2012 pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), através da Resolução Normativa (RN) nº 482, estabelecendo os critérios homologatórios de acesso e as condições gerais para compensação energética (ANEEL, 2012a).

Esta alternativa permite a conexão de fontes geradoras de energia elétrica com a rede de distribuição. Ela viabiliza a implementação de diversas fontes intermitentes de energia para produção de energia elétrica, possibilitando um melhor aproveitamento energético de fontes como a energia solar e eólica (DANTE e EDELSTEIN, 2017).

Em 2015, o regulamento foi aprimorado pela RN n° 687, tornando o processo de conexão mais rápido, melhorando o sistema de créditos e flexibilizando a distribuição de créditos entre as unidades consumidoras. Para a GD atualmente regulamentada no Brasil, são permitidas as conexões de geradores de até 5 MW na rede de distribuição, somente a partir de fontes renováveis de energia ou de cogeração qualificada (ANEEL, 2015b).

Através das normativas, as conexões em GD de até 75 kW de potência instalada se enquadram na categoria de Microgeração. Já as conexões entre 75 kW e 5MW, estas se enquadram na categoria de Minigeração e, devido à maior potência, é exigido um maior número de documentos e testes para a homologação do sistema gerador (ANEEL, 2012a).

Sendo assim, o constante incremento de eficiência dos equipamentos disponíveis no mercado beneficia o uso de energia solar, a qual tem se mostrado economicamente viável em vários cenários e traz muitos benefícios aos usuários (DANTAS e POMPERMAYER, 2018).

## 1.2 PROBLEMÁTICA

Os sistemas de geração de energia elétrica utilizados em conexões de GD têm se popularizado no setor elétrico brasileiro, principalmente devido à tendência geral de aumento do poder de escolha na sociedade. Neste sentido, a expectativa com relação aos empreendimentos de geração de energia solar fotovoltaica é grande e promissora. Contudo, há desafios a serem compreendidos e enfrentados durante a implementação e o funcionamento destes sistemas em Minigeração Distribuída.

Atualmente existem diversos estudos sobre viabilidade econômica e sobre dimensionamento de sistemas de geração de energia fotovoltaica. Entretanto, nota-se uma carência de informações relativas a experiências e estudos relacionados ao funcionamento destes sistemas fotovoltaicos, principalmente sobre as questões técnicas de vistoria da companhia de energia para efetivação do mesmo.



### 1.3 HIPÓTESE

Conhecer as etapas do processo de implementação em Geração Distribuída contribui com uma efetivação ágil e com um funcionamento adequado dos sistemas fotovoltaicos.

### 1.4 A PESQUISA

A partir do interesse do laticínio E. F. Arantes e Cia Ltda, localizado na cidade de Nova Cantu - PR, na implementação de um sistema de minigeração distribuída de energia solar fotovoltaica com potência de 100 kW de inversores, com módulos somando 123,75 kWp, identificou-se a necessidade de realizar um estudo acerca das regulamentações envolvidas para o desenvolvimento do projeto, homologação e execução da obra. Uma empresa foi contratada para a execução da obra e contou com o próprio autor para atuar como engenheiro eletricista e responsável técnico.

A pesquisa se faz importante por elucidar os aspectos técnicos para minigeração distribuída, com potência instalada superior a 75 kW, presentes nas regulamentações normativas brasileiras junto das normas técnicas da companhia local, recentemente atualizadas.

Assim, foi desenvolvida a documentação para homologação do sistema e, além disso, as observações da produção energética real junto das questões técnicas de instalação também farão parte dos resultados.

O presente trabalho contribuiu com informações referentes ao desenvolvimento e implementação de um sistema gerador deste porte, utilizando energia solar fotovoltaica. Ele também expôs os parâmetros elétricos verificados durante os testes prévios e de funcionamento do sistema. As etapas e as decisões tomadas estão detalhadas nas análises dos resultados.



## 1.5 OBJETIVOS

O objetivo geral proposto é implementar um sistema de geração de energia solar fotovoltaica na modalidade de Minigeração Distribuída em uma indústria de laticínios.

A pesquisa é aplicada como um estudo de caso e engloba os seguintes objetivos específicos:

- I. Dimensionar e dispor adequadamente os componentes fotovoltaicos e elétricos envolvidos no sistema;
- II. Desenvolver uma estimativa da produção mensal de energia do sistema;
- III. Elaborar os documentos de projeto exigidos para homologação do sistema em Minigeração distribuída;
- IV. Avaliar a atual situação da subestação de acessante da unidade consumidora e do sistema elétrico interno do imóvel, visando possíveis readequações necessárias;
- V. Analisar o processo de vistoria e garantir a efetivação do sistema;
- VI. Elucidar as características elétricas do funcionamento do sistema e avaliar o desempenho da produção energética obtida nos primeiros meses.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 CONTEXTO BRASILEIRO

#### 2.1.1 Promoção da Sustentabilidade

Os excessos de gases nocivos à atmosfera são, em grande parte, devido às atividades humanas e têm níveis de emissão ampliados desde o início da revolução industrial. Suas elevadas concentrações na atmosfera intensificam o efeito estufa do planeta, trazendo instabilidade para os ecossistemas e para as condições climáticas (HOUGHTON *et al.*, 1990).

A resposta global frente às mudanças climáticas observadas se baseia em medidas de redução de emissão de gases e de resíduos poluentes, aumentando o uso de fontes de energia renováveis. As organizações internacionais, ante os fatos analisados, buscam incentivar e recomendar ações estratégicas a todos os países e estados, visando auxiliar o desenvolvimento social e a sustentabilidade ambiental.

Durante a década de 80, houve grandes mudanças de paradigmas que trouxeram importantes evoluções nas ações de preservação ambiental, principalmente as que concernem os recursos naturais. Assim, foram implementadas leis mais adequadas e espaços institucionais compatíveis, para que a formulação de políticas públicas integrasse toda a sociedade. Essas mudanças começaram como reflexo de pensamentos que se disseminaram pela comunidade científica mundial, demonstrando que os problemas deviam ser encarados em uma escala planetária, principalmente sobre as grandes mudanças climáticas que estão acontecendo no planeta (ALMEIDA, 2017).

Diante dos anseios nacionais e internacionais, a Constituição Brasileira, em seu artigo 225, dedica todo um capítulo ao meio ambiente. Ele assegura o direito do povo ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, induzindo sua preservação para a atual e futuras gerações (BRASIL, 1988).

Uma importante medida em favor da proteção ambiental e da maior sustentabilidade da matriz energética nacional é representada pela Lei 10.438 de 26 de abril de 2002, que dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial e cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica. O objetivo de tal lei é aumentar a participação da energia elétrica produzida por

empreendimentos de fonte eólica, solar fotovoltaica, biomassa e pequenas centrais hidrelétrica no sistema elétrico interligado nacional (ANTUNES, 2012).

O desenvolvimento da ciência, inovação e tecnologia, está intrinsicamente ligado a utilização da energia elétrica e, portanto, os recursos naturais e as formas utilizadas na produção de energia têm sido debatidos mundialmente. A Agenda 2030, em seu sétimo objetivo, visa promover e assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos. Além de ter como meta a universalização dos serviços de energia, a atual agenda também busca aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global (ONU, 2015).

Com base neste fato, o Plano Decenal de Expansão 2024 (EPE, 2017) priorizou a participação destas fontes renováveis como uma das principais diretrizes para suprir o crescente consumo de energia elétrica nos próximos 10 anos, com enfoque em manter a rede estável e o garantir uma maior segurança energética nacional.

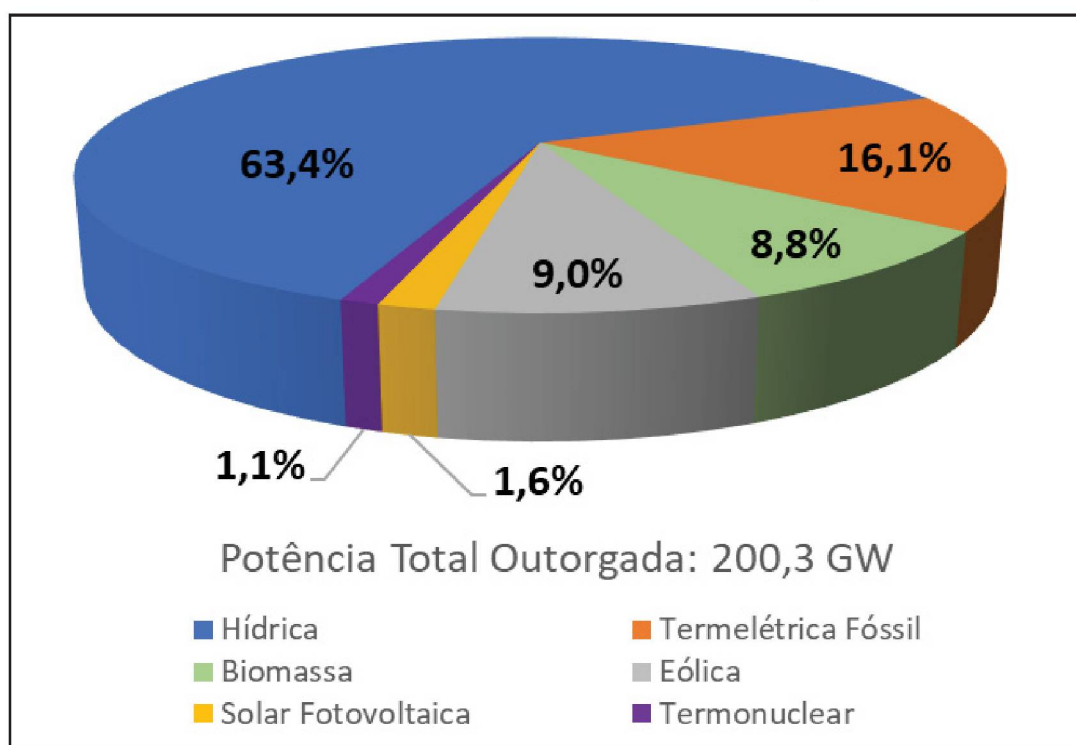
Uma das medidas inseridas no âmbito nacional foi a GD. Esta modalidade foi incluída no país aceitando somente fontes renováveis e possibilita que cada imóvel possa gerar sua própria energia, com o intuito de aliviar o sistema elétrico interligado (ANEEL, 2012). Assim, o Brasil consegue combinar políticas públicas de incentivo ao mesmo tempo que dispõe de um território com grande potencial.

### 2.1.2 Setor Elétrico

A matriz elétrica é formada pelo conjunto de fontes disponíveis apenas para a geração de energia elétrica em um país, estado ou no mundo. A geração de energia elétrica mundial é baseada, principalmente, em combustíveis fósseis como carvão, óleo e gás natural em termelétricas (IEA, 2019).

O Brasil possui um dos maiores potenciais hidrelétricos do mundo, um total de 164 GW inventariado, e a maior parte da matriz energética nacional provém deste recurso (ANEEL, 2002). Atualmente, cerca de 83% da energia elétrica é proveniente de fontes renováveis, conforme disposto na Figura 1, através de fontes hídrica, solar, eólica e de biomassa existentes no território nacional.

FIGURA 1 - MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA EM MARÇO DE 2020



FONTE: ADAPTADO DE ANEEL (2020b).

Entretanto, o amplo sistema de produção energética brasileiro fica afastado dos grandes centros de consumo, o que demanda grandes custos com a transmissão de energia elétrica. Cumulado a isso, tem-se a crescente demanda econômica para expansão da capacidade de geração. Assim, é colocado em debate a questão da viabilidade de construções de novas hidrelétricas, levando em consideração serem obras civis de grande porte e de elevado aporte financeiro (BORBA, 2015).

A hidroeletricidade foi considerada uma boa opção de geração de energia elétrica devido ao baixo preço de comercialização e os estudos ambientais dentre as décadas de 70 e 80 afirmavam que as hidrelétricas eram fontes renováveis e limpas (BECKER, 2012). Contudo, conforme Santos (2000), a energia hidrelétrica não é uma fonte livre de emissões atmosféricas, considerando-se o lago artificial formado e sua complexa vida aquática. Além disso, os impactos ambientais e sociais na construção das barragens são imensuráveis.

Assim, a hidroeletricidade, fonte energética primária no Brasil, enfrenta hoje enormes dificuldades para sua expansão com a construção de novos grandes reservatórios, principalmente na região da bacia amazônica, devido às interferências com áreas de proteção ambiental ou de ocupação social e, portanto, quase todas as



usinas hidrelétricas recentemente construídas foram do tipo Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) (TOLMASQUIM, 2016).

Além disso, os períodos de estiagem em diversas regiões do país promovem um déficit energético, que pressiona o sistema interconectado nacional a utilizar termelétricas movidas a combustíveis fósseis para suprir a demanda. Conforme Tolmasquim (2016), ainda não há previsão de aumento significativo na capacidade instalada de geração hidrelétrica a partir de 2018, mas sim com o incremento cada vez maior da participação das demais fontes renováveis de geração de energia elétrica.

Como a matriz energética do Brasil é basicamente hidrelétrica, o país sofre muitos prejuízos econômicos e ambientais em períodos de seca, tendo que ativar usinas termelétricas, movidas a óleo, gás, carvão e outros materiais, que além de ter custos elevados, possuem maior grau poluidor. Este conjunto causa um aumento no valor das faturas de energia elétrica, como também leva o governo a adotar uma cobrança de taxas extras intituladas de bandeiras tarifárias amarela e vermelha, trazendo mais prejuízos econômicos aos consumidores (ULIANA, 2018).

Esse cenário brasileiro acabou por expor a fragilidade do sistema elétrico nacional, pois a matriz energética não é diversificada, fazendo com que o país fique à mercê da natureza. Assim, foi importante debater outras formas de geração de energia, a fim de diversificar a matriz e atender à crescente demanda de energia nacional.

Sendo assim, a energia eólica tem apresentado uma taxa de crescimento positiva, juntamente com a energia fotovoltaica e de biomassa, contribuindo para que a matriz elétrica nacional se torne ainda mais renovável e diversificada. Esta conquista é um estímulo na pesquisa de novas tecnologias de fontes renováveis, mas também se deve à soma de diversos fatores econômicos e políticos. (EPE, 2019).

### 2.1.3 Potencial Solar

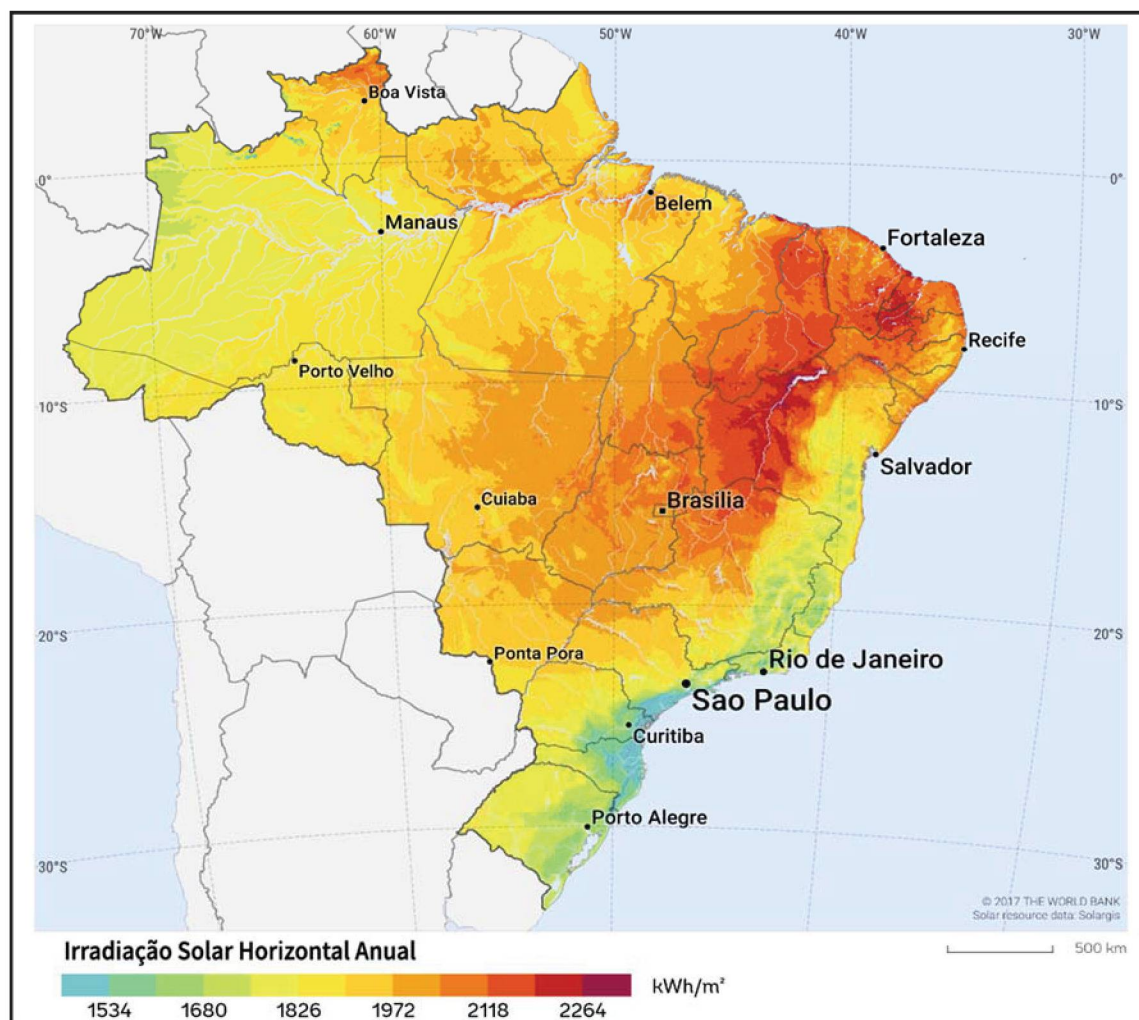
A energia solar fotovoltaica começou a ser inserida no mercado nacional de forma gradual. Inicialmente foi empregada somente em pequenos sistemas autônomos, instalados principalmente em locais não atendidos pela rede elétrica.

Logo, a crescente expansão do setor fotovoltaico no Brasil mostrou que o desenvolvimento sustentável aliado a evolução tecnológica pode ser uma realidade,

levando em consideração o grande potencial que o país tem para gerar energia através dessa tecnologia (CEMIG, 2012).

A quantidade de energia produzida por um sistema de geração fotovoltaico depende diretamente da irradiação solar diária do local a ser instalado. A Figura 2 mostra um mapa do recurso solar brasileiro, destacando a quantidade média de irradiação solar horizontal em cada localidade do país.

FIGURA 2 - MAPA DA IRRADIAÇÃO SOLAR HORIZONTAL GLOBAL NO BRASIL



FONTE: GLOBAL SOLAR ATLAS (2017).

O Brasil possui um grande potencial de energia solar, com excelentes índices de irradiação solar para geração de energia elétrica em grandes usinas ou distribuída em unidades consumidoras. É importante ressaltar que quase todas as regiões brasileiras são melhores em irradiação solar que alguns países como Alemanha e Japão, os quais já incentivam e empregam largamente a utilização de energia solar fotovoltaica (FREIRE, 2015; VILLALVA e GAZOLI, 2012).

Um importante passo dado para inserção da energia fotovoltaica no país foi o projeto estratégico Arranjos Técnicos e Comerciais para a Inserção de Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira, lançado pela ANEEL em conjunto com empresas concessionárias de energia elétrica de todo o país com objetivo de promover a criação de usinas experimentais de energia fotovoltaica interligadas ao sistema elétrico nacional (VILLALVA e GAZOLI, 2012).

Somente com o advento da RN nº 482/2012 da ANEEL que os sistemas conectados à rede se tornaram realidade funcionando como compensadores de crédito, onde se sistematizou sobre a microgeração e minigeração alimentados por fontes renováveis de energia, conectados com sistemas de distribuição em baixa e média tensão (VILLALVA e GAZOLI, 2012).

Existem vários componentes que compõem o modulo solar fotovoltaico, entretanto o mais complexo e de difícil produção são as chamadas células solares que são produzidas com a matéria prima obtida do silício. Na corrida pela eficiência das células solares, o processo de purificação esteve atrelado ao desenvolvimento da indústria eletrônica, com o advento de componentes eletrônicos tais como diodos e transistores e, depois, com a miniaturização desses componentes, que possibilitou a fabricação dos circuitos integrados (ESPOSITO e FUCHS, 2013).

Alguns países como Alemanha, China e Estados Unidos estão investindo em inovação e tecnologia do setor fotovoltaico e com isso possuem graus de eficiências em muitos casos melhores que os obtidos em nosso país, atrelados a cadeias de produção que levaram a diminuir significativamente os custos de produção. Mesmo que o Brasil possua a matéria prima em abundância, se faz necessário o desenvolvimento tecnológico para que o país avance no setor industrial fotovoltaico (ESPOSITO e FUCHS, 2013).

#### 2.1.4 Geração Distribuída

A utilização de geração própria de energia elétrica somente era permitida com a desconexão da rede de distribuição, onde os sistemas geradores operavam somente na modalidade *off-grid*. Fontes geradoras intermitentes como a solar fotovoltaica e a eólica não conseguiam sozinhas alimentar um sistema por 24 horas, necessitando de um sistema de energia backup que encarece o processo de geração (RÜTHER *et al.*, 2018).



A RN nº 482 da ANEEL foi o marco regulatório para que a utilização de energia solar fotovoltaica se desenvolvesse no Brasil, pois permitiu aos consumidores realizar a troca da energia gerada com a da rede elétrica na modalidade *grid-tie*, criando as regras para sistema que compensa o consumidor pela energia elétrica injetada na rede (ANEEL, 2012a; RÜTHER *et al.*, 2018).

Ficou definido que as centrais geradoras somente devem se utilizar de fontes de energia hidráulica, solar, eólica e biomassa. Além disso, haveriam dois tamanhos, que após suas atualizações seriam a microgeração distribuída com potência instalada menor ou igual a 75 kW e a minigeração distribuída com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW (ANEEL, 2012a).

Assim, GD é a modalidade de conexão de fontes geradoras de energia elétrica com a rede de distribuição das companhias de energia. Ela engloba a instalação de geradores de pequeno e médio porte, conectados por meio de unidades consumidoras já existentes em propriedades privadas ou públicas (AGUIAR JUNIOR e PINTO, 2017).

A energia produzida nesta modalidade é primeiro consumida diretamente dentro do imóvel daquela unidade consumidora, o excedente de energia produzida é injetado na rede de energia elétrica das distribuidoras e, nos horários em que não há produção, a energia é fornecida pelas companhias. Então, um medidor bidirecional registra a quantidade de energia que entrou e que saiu da unidade consumidora e, no fim do mês, é realizado automaticamente uma compensação destes valores (MICHELETTI, 2017).

Muitos anos antes de se normatizar a GD no Brasil, já se fabricava e se utilizava sistemas fotovoltaicos em vários países pelo mundo. Até o ano de 2012, os brasileiros que buscavam gerar sua energia através do Sol ou do vento somente poderiam utilizar sistemas desconectados da rede de energia elétrica, os quais se utilizam de baterias para armazenar a energia produzida a fim de utilizá-la nos momentos sem irradiação solar (RÜTHER *et al.*, 2018).

A legislação nacional sobre GD caminhou a passos curtos. Várias leis, decretos e resoluções normativas foram editadas nas últimas 3 décadas que, aos poucos, fomentaram a utilização da GD no Brasil. Todo esse esforço se deu de modo a tornar a matriz energética mais diversificada no país, incluindo novas formas de aproveitamento energético renovável. De modo geral, a utilização da GD tem mais consequências positivas do que negativas, trazendo vários benefícios à sociedade e



ao sistema elétrico como um todo, pois acaba por suprir ou complementar a matriz energética nacional (BARBOSA e AZEVEDO, 2013).

Além disso, o Instituto Nacional de Eficiência Energética afirma que esta modalidade é mais vantajosa que a geração centralizada, pois economiza investimentos em transmissão e reduz as perdas nestes sistemas (INEE, 2017).

A GD traz grandes benefícios técnicos à geração fotovoltaica, como o sistema de compensação de energia, que possibilita ao consumidor deixar de utilizar baterias que possuem vida útil curta e é considerada um descarte de lixo muito poluente se não descartado corretamente. Ainda, há a possibilidade de instalação em áreas urbanas que já possuem construções no local e há redução dos impactos ambientais na produção de energia (NARUTO, 2017).

Todo consumidor ativamente cadastrado no Ministério da Fazenda, por um CPF ou um CNPJ, tem concessão para conectar um sistema gerador de energia elétrica próprio paralelamente às redes de distribuição das concessionárias, seguindo os critérios das normativas (AGUIAR JUNIOR e PINTO, 2017).

Inicialmente, em função de um tramite burocrático e lento, as instalações demoravam muitos meses para serem conectadas a rede. Ainda se tinham muitas dificuldades de adaptação tanto das concessionárias, em fase de assimilação do processo, como das empresas instaladoras, que possuíam várias dúvidas em suas primeiras instalações.

Neste sentido, o artigo 4 simplifica algumas burocracias, quando define que a assinatura de contratos de uso e conexão é dispensada para os casos de GD, participantes do sistema de compensação de energia elétrica da distribuidora, devendo celebrar um Acordo Operativo ou um Relacionamento Operacional conforme o porte do sistema gerador (ANEEL, 2012a).

Os limites de potência a ser instalada em unidades de GD foram definidos conforme os limites máximos de potência demandada existentes. Para os consumidores do grupo B, que recebem a energia em tensão inferior a 2,3 kV, a potência instalada máxima permitida para geração fica limitada a carga instalada da unidade consumidora, que é definida de acordo com o disjuntor existente no padrão de entrada (ANEEL, 2012b).

Para os consumidores do grupo A, atendidos em tensão igual ou superior a 2,3 kV ou por sistema subterrâneo de distribuição, a potência instalada máxima permitida para geração fica limitada à demanda contratada presente na conta de

energia elétrica da unidade consumidora, a qual sempre é igual ou inferior que carga instalada da unidade consumidora (ANEEL, 2012b).

Ainda segundo a RN nº 482 da ANEEL (2012b), para o faturamento dessa energia fica definido que para consumidores do grupo B, que são caracterizados pela tarifa monômnia aplicada ao consumo, o mínimo a ser cobrado deve ser o valor referente ao custo de disponibilidade de acesso à rede. Caso houver excedente de energia ativa recebida após a compensação dos créditos, a mesma será cobrada normalmente no lugar da taxa mínima.

No caso dos consumidores do grupo A, caracterizados pela tarifa binômnia aplicada ao consumo e pela demanda contratada, o mínimo a ser cobrado deve ser o valor referente à demanda contratada. Neste caso, existe a possibilidade de que a energia gerada compense totalmente o consumo ativo de energia elétrica, não havendo energia excedente a ser cobrada (ANEEL, 2012b).

Neste sentido, o faturamento se dá pelo consumo de energia ativa e reativa nos horários de ponta e fora de ponta, após a compensação de créditos energéticos do mesmo horário em que foi gerado. Caso sobre créditos energéticos gerados pela unidade, é possível utilizar este excedente para compensar o consumo de energia do outro horário. Nestes casos, observa-se a proporção entre os valores das tarifas de energia para os diferentes horários de tarifação, já que 1 kWh gerado no horário de fora de ponta possui uma tarifa inferior ao valor de 1 kWh gerado no horário de ponta (ANEEL, 2012a).

A RN nº 517 de 2012 participa na regulamentação do processo de injeção e consumo de energia elétrica, criando-se o sistema de compensação de energia elétrica. Deste modo, a compensação funciona por meio de empréstimo gratuito da energia à distribuidora local, para compensação posterior do consumo de energia elétrica dentro das possibilidades vigentes regulamentadas (ANEEL, 2012b).

Em 2015, o regulamento vigente foi aprimorado pela RN nº 687, tornando o processo de conexão mais rápido, melhorando o sistema de créditos e flexibilizando a distribuição de créditos entre as unidades consumidoras através de novas modalidades de compensação energética. A RN nº 687 prolongou o prazo de validade dos créditos energéticos, podendo ser compensados em meses posteriores por um prazo de até 5 anos (ANEEL, 2015b).

A primeira destas modalidades é o Autoconsumo Remoto, onde tanto a unidade geradora, quanto todas as unidades consumidoras que receberão o crédito,

devem pertencer ao mesmo titular em CPF ou CNPJ, cabendo ao consumidor definir previamente a proporção em porcentagem de compensação dessas unidades. A unidade geradora é a primeira a ter seu consumo compensado no mês vigente, já que a energia elétrica gerada pode ser superior à consumida nesta unidade, e somente o excedente é redistribuído nas outras unidades consumidoras (ANEEL, 2015b).

Observa-se que houve um crescimento acentuado a partir de 2015, quando as atualizações da RN nº 687 passaram a atribuir vantagens para esta modalidade de GD. Além disso, o número de unidades que recebem o crédito se tornou maior que o número de conexões de unidades geradoras, indicando também as unidades que somente recebem créditos de outras unidades geradoras (ANEEL, 2015b).

Um Empreendimento com Múltiplas Unidades Consumidoras é uma das modalidades também inseridas pela normativa RN nº 687, a GD em condomínios, devendo as unidades consumidoras estar localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas, pertencentes a um condomínio (ANEEL, 2015b).

Outra modalidade disponível é a Geração Compartilhada. Este tipo configura-se como um empreendimento de maior porte que requer um CNPJ regendo a administração de um consórcio entre as partes ou que um CNPJ firme a estrutura de uma sociedade cooperativa, a fim de distribuir os créditos excedentes às unidades consumidoras participantes (ANEEL, 2015b).

Observa-se que a modalidade de Geração Compartilhada permite que diferentes CPFs ou CNPJs recebam os créditos gerados, mesmo não estando localizadas sob a mesma propriedade. Este é o processo mais burocrático de todas as modalidades, mas se tornou viável pela possibilidade de cooperativas ofertarem o aluguel de sistemas geradores para pessoas que não possuem espaço para tal, assim como empresas ou famílias que se situam em imóveis alugados ou com impossibilidade de espaço para a instalação dos sistemas geradores (ANEEL, 2015b).

Esta modalidade também permite que a criação de parques eólicos e de sistemas de maior potência possam funcionar sob as características da GD, enviando os créditos gerados para outras unidades consumidoras (ANEEL, 2015b). As políticas mais importantes envolvidas no processo de implementação e concretização da GD no Brasil são mostradas em ordem cronológica no Quadro 1.



QUADRO 1 - MARCOS LEGAIS DAS POLÍTICAS DE GD

Política	Ano	Ênfase
Lei 9.247	1996	Redução não inferior a 50% nas tarifas de uso dos Sistemas de Transmissão e Distribuição
Convênio ICMS 101	1997	Isenção do ICMS nas operações com equipamentos e componentes
Lei nº 10.438	2002	Diferenciar os valores pagos as fontes de GD em relação a geração de fontes mais competitivas
Decreto de nº 5.163	2004	Mostrou características da GD para as distribuidoras
RN 482 ANEEL	2012	Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica
RN 517 ANEEL	2012	Revisa a Resolução Normativa ANEEL 482
Convênio ICMS 16	2015	Autoriza a conceder isenção nas operações internas relativas à circulação de energia elétrica, sujeita a faturamento sob o Sistema de Compensação
Lei 13.169	2015	Reduz a zero as alíquotas da Contribuição para o PIS/Pasep e CONFINS incidentes sobre a energia elétrica ativa
Lei 13.203	2015	Descontos de pelo menos 50% nas tarifas de uso do sistema de transmissão e de distribuição e BNDES (taxas diferenciadas)
RN 687 ANEEL	2015	Revisa a Resolução Normativa ANEEL 482 e os procedimentos de distribuição
ProGD	2015	Estimular o crescimento da GD no Brasil
RN 786 ANEEL	2017	Revisa a Resolução Normativa ANEEL 482

FONTE: SILVA ET AL., 2018.

Sendo assim, são várias as políticas envolvidas na GD, a qual está sempre passando por constantes atualizações.

#### 2.1.5 Expansão Fotovoltaica em GD

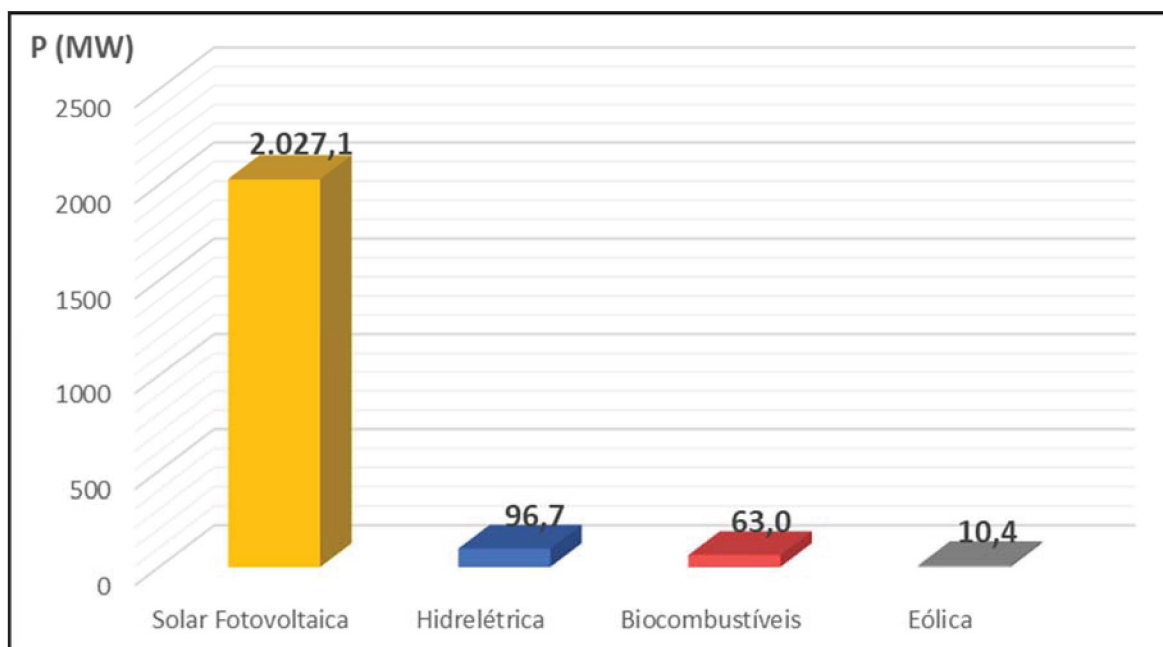
Os relatórios anuais da Agência Internacional de Energia abordam as soluções e perspectivas para o mercado de energia urbano, identificando as melhores aplicações que equilibrem custo, eficiência e sustentabilidade nos projetos de integração dos telhados verdes. Assim, observa-se a possível expansão da GD no



meio urbano, a fim de que os consumidores tenham uma maior autonomia e de que a matriz elétrica do país seja auxiliada (IEA, 2019).

Dentre as fontes energéticas permitidas na modalidade de GD, a energia elétrica produzida com energia solar teve destaque no Brasil. A Figura 3 mostra a grande diferença de potência instalada entre a energia solar fotovoltaica com as demais fontes energéticas até o ano de 2019.

FIGURA 3 - POTÊNCIA INSTALADA EM MW POR FONTE ENERGÉTICA EM GD NO BRASIL ATÉ JANEIRO DE 2020

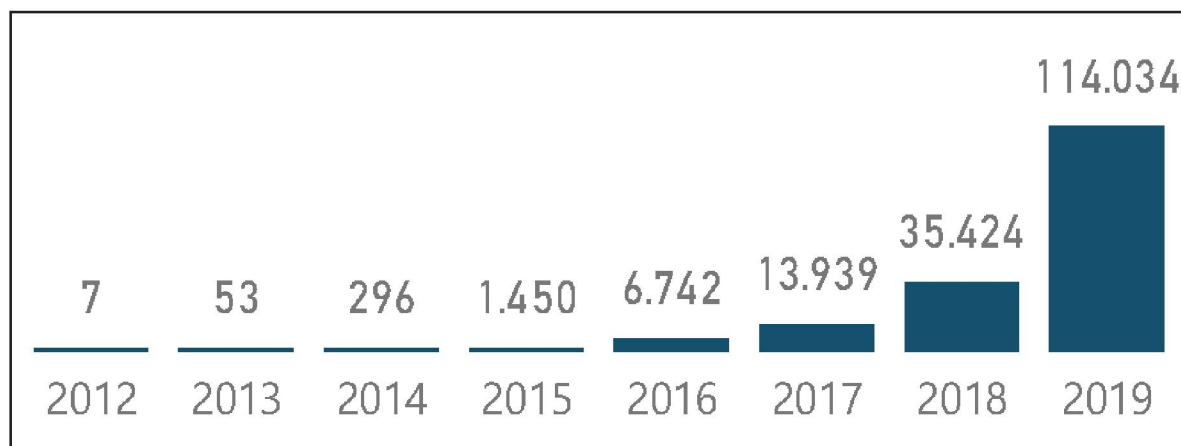


FONTE: ADAPTADO DE ANEEL (2020a).

Constata-se que foi no ano de 2015 que houve a primeira atualização da normativa e, a partir daí, a quantidade de unidades consumidoras que realizaram conexões em GD cresceu de forma exponencial, conforme gráfico da Figura 4. Assim, observa-se que esses mais de 2GW de potência instalada estão distribuídos em diversos empreendimentos pelo país (ANEEL, 2015b).

Assim, a tecnologia foi ganhando confiabilidade conforme o país observava o funcionamento de milhares de instalações pelo Brasil e pelo mundo (IEA, 2019). Além disso, a inserção de políticas públicas, juntamente com as linhas de crédito específicas, foram fundamentais para difusão da energia solar neste país (EPE, 2017).

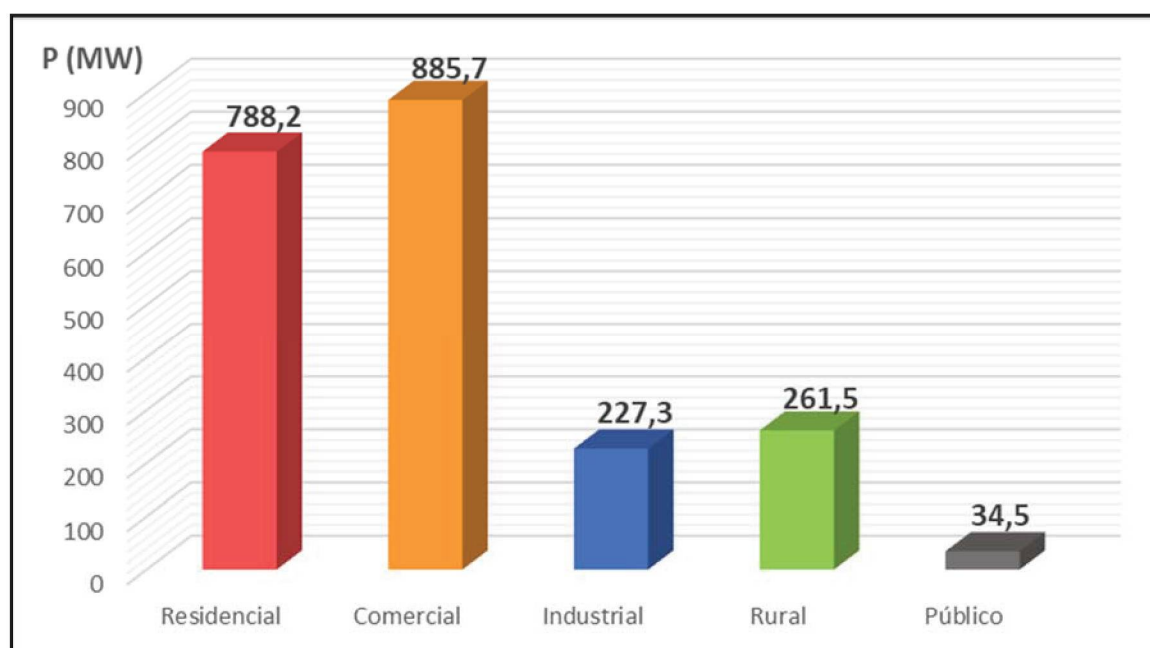
FIGURA 4 - NÚMERO DE CONEXÕES DO TIPO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM GD POR ANO ATÉ 2019



FONTE: ANEEL (2020a).

Deste modo, o país já atingiu em 2019 um terço do previsto para 2026 e mostra-se muito mais promissor do que o previsto (EPE, 2017). Conforme a Figura 5, a geração de energia solar fotovoltaica conectada à rede nos âmbitos residencial e comercial foram as mais utilizadas em GD no Brasil, mas ainda assim os setores industrial e rural possuem um crescimento expressivo.

FIGURA 5 - CLASSES DE CONSUMO DOS CONSUMIDORES CONECTADOS EM GD NO BRASIL ATÉ JANEIRO DE 2020



FONTE: ADAPTADO DE ANEEL (2020a).

Além da atualização e melhora na compensação dos créditos, também foram dispostas isenções tributárias de PIS/COFINS e ICMS sobre a energia compensada pela unidade consumidora, que vale agora para todos os estados após adesão dos estados Amazonas, Paraná e Santa Catarina a partir de julho de 2018, aumentando a viabilidade financeira dos investimentos (CONFAZ, 2015).

Atualmente, geração de energia elétrica por meio da energia solar fotovoltaica tornou-se mais acessível, principalmente devido a estes e outros incentivos governamentais, esta é a fonte renovável mais utilizada na modalidade de GD no Brasil. Assim, esta tecnologia é a que apresenta o maior potencial de aderência para os próximos 10 anos, principalmente devido a sua modularidade e a constante baixa em seu custo (EPE, 2017).

Deste modo, os números corroboram a viabilidade econômica deste tipo de empreendimento, principalmente nos âmbitos residencial, comercial, rural e industrial.

## 2.2 CONCEITOS DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

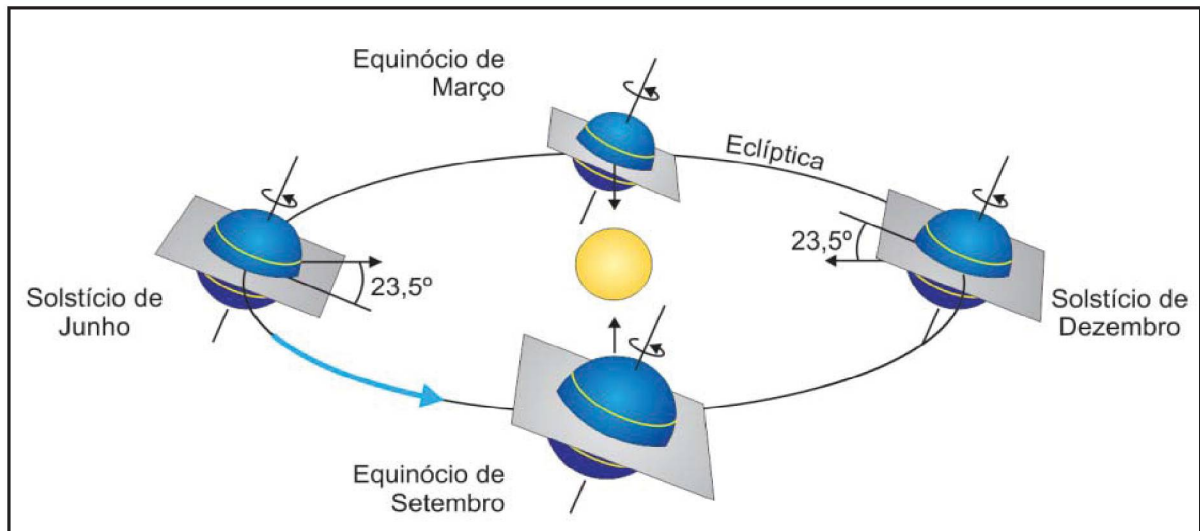
### 2.2.1 Radiação Solar e Movimentos Astronômicos

A radiação solar que atinge a superfície terrestre pode diminuir de acordo com alguns fenômenos astronômicos e atmosféricos. Naturalmente, a luz é desviada ou absorvida por partículas suspensas de ozônio, dióxido de carbono, vapor de água e poeira, presentes na atmosfera temporariamente ou permanentemente (HINRICHS, 2010).

Além disso, a distância da Terra ao Sol e a inclinação do eixo da Terra variam juntas formando as estações do ano e, assim, influenciando diretamente a quantidade de radiação solar e a quantidade de horas de Sol disponíveis. Assim, a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos também depende destas condições meteorológicas e de posicionamento geográfico (LOPEZ, 2012).

A distância entre a Terra e o Sol varia ao longo do ano, com o ponto mais afastado nominado de afélio e o ponto mais próximo nominado de periélio (OLIVEIRA FILHO e SARAIVA, 2014). Sendo assim, a intensidade da radiação solar que chega até toda a Terra varia enquanto o planeta orbita o Sol. A Figura 6 representa o movimento que causa esta variação.

FIGURA 6 - POSIÇÕES RELATIVAS DO SISTEMA TERRA-SOL DURANTE UMA REVOLUÇÃO TERRESTRE COMPLETA AO REDOR DO SOL

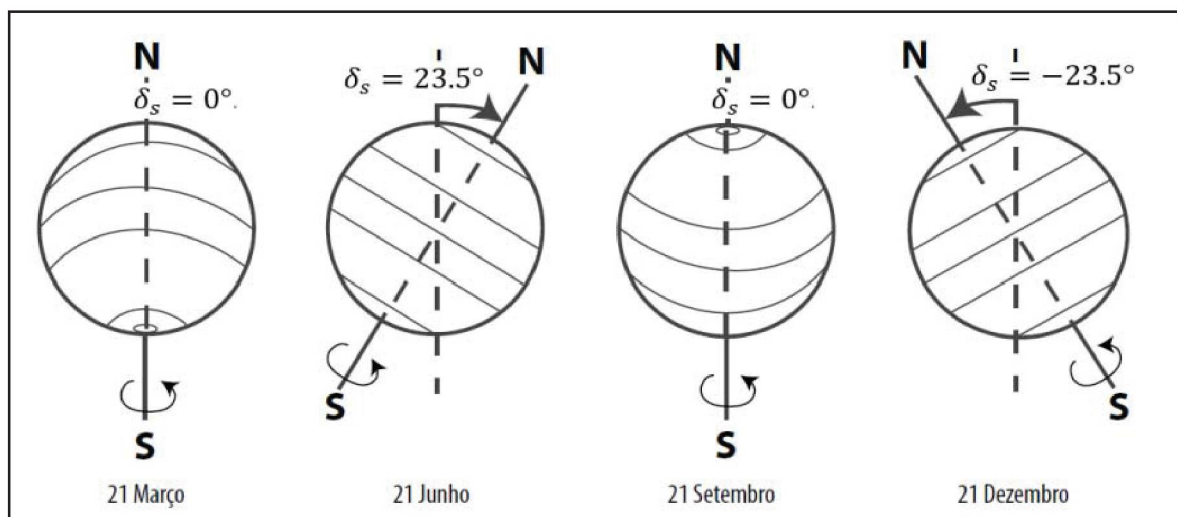


FONTE: OLIVEIRA FILHO E SARAIVA (2014).

A Terra possui seu eixo de rotação inclinado em aproximadamente 23,5° em relação à vertical do plano da eclíptica, ou seja, do plano de translação da Terra. Esta inclinação da Terra, junto do movimento de translação, produz um movimento aparente do Sol latitudinalmente. Os pontos intermediários são chamados de Equinócios e os pontos extremos de inclinação de solstícios (OLIVEIRA FILHO e SARAIVA, 2014; LOPEZ, 2012).

A Figura 7 mostra o ângulo de declinação de cada um dos momentos importantes durante o movimento de translação da Terra ao redor do Sol relacionados às datas correspondentes.

FIGURA 7 - VALORES DA DECLINAÇÃO SOLAR DURANTE EQUINÓCIOS E SOLSTÍCIOS



FONTE: TIDWELL E WEIR (2016).



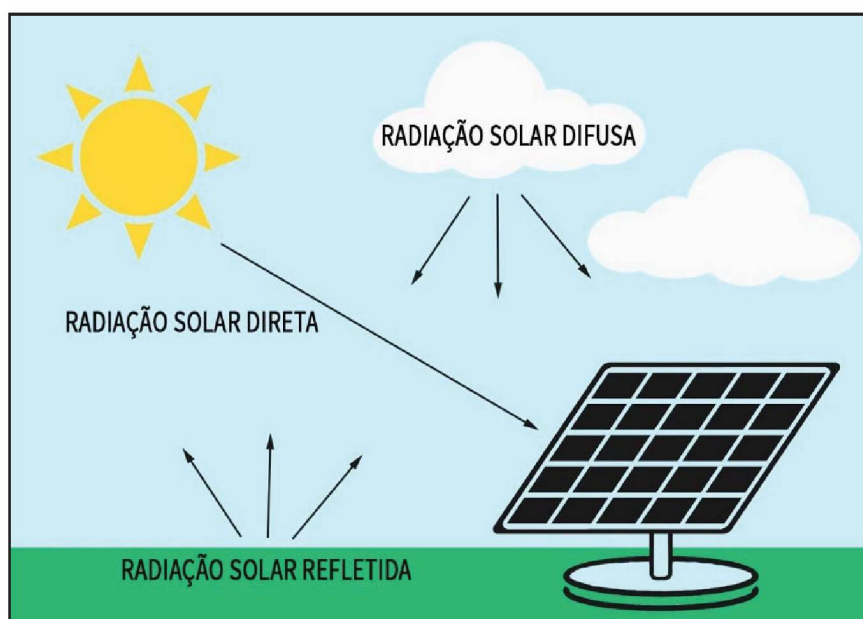
Este movimento então produz a declinação solar ( $\delta_s$ ), que é o ângulo entre a linha Sol-Terra e o plano do equador, estando diretamente relacionada à quantidade de radiação solar que incide em cada região do planeta. Assim, esta declinação possui valor  $0^\circ$  nos momentos de equinócio e valores máximos de  $-23,5^\circ$  e  $+23,5^\circ$  durante os solstícios (TIDWELL e WEIR, 2016; OLIVEIRA FILHO e SARAIVA, 2014).

Assim, os dias mais longos estão no período próximo ao solstício de verão de cada um dos hemisférios, equivalendo a uma maior quantidade de energia aproveitável do que em um dia próximo ao solstício de inverno (OLIVEIRA FILHO e SARAIVA, 2014).

### 2.2.2 Componentes da Radiação Solar e Posicionamento

A radiação que atinge a superfície é composta por uma componente direta, uma componente difusa, que vem difundida pelas nuvens, e uma componente refletida pelo entorno, mostradas na Figura 8. A relação entre a irradiação refletida e a incidente destas superfícies é chamado de albedo e varia de acordo com o material, maior para neve e menor para asfalto, por exemplo (PINHO e GALDINO, 2014).

FIGURA 8 - COMPONENTES DA RADIAÇÃO SOLAR



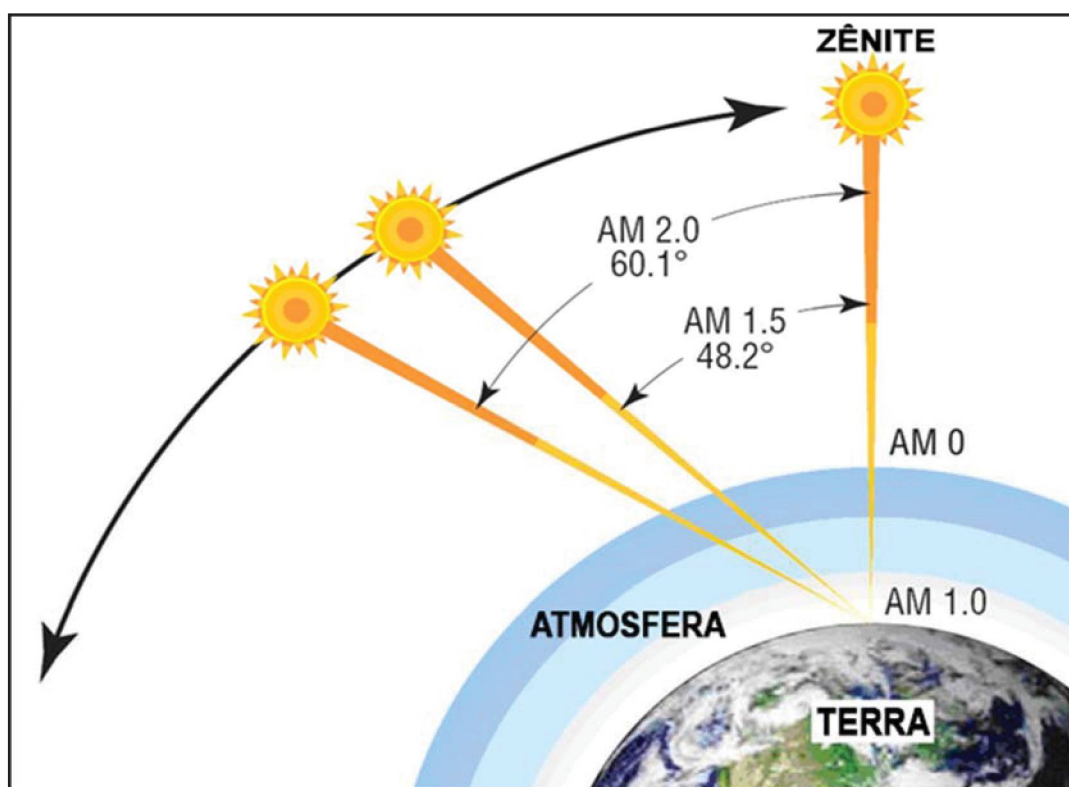
FONTE: AURORA SOLAR (2018).

Assim, a radiação global é o valor da soma destas três componentes de radiação solar. Neste sentido, o ângulo de incidência é o ângulo que a componente

de radiação direta faz com a perpendicular ao plano do módulo fotovoltaico. Então, quanto menor o ângulo de incidência, maior o aproveitamento energético (PINHO e GALDINO, 2014).

Há uma variação na radiação solar que chega à superfície terrestre de acordo com a espessura da atmosfera por ela percorrida. Esta trajetória é adimensional e expressa como Massa de Ar (AM), aumentando conforme o ângulo de incidência solar muitas vezes influenciado pela longitude ou estação do ano do local. A Figura 9 mostra que com o Sol em zênite, considera-se uma trajetória AM 1.0, e que com  $48,2^\circ$  de inclinação, considera-se uma trajetória AM 1.5, a qual é geralmente padrão para os ensaios fotovoltaicos (LASER FOCUS WORLD, 2009).

FIGURA 9 - TRAJETÓRIA DA RADIAÇÃO SOLAR NA ATMOSFERA



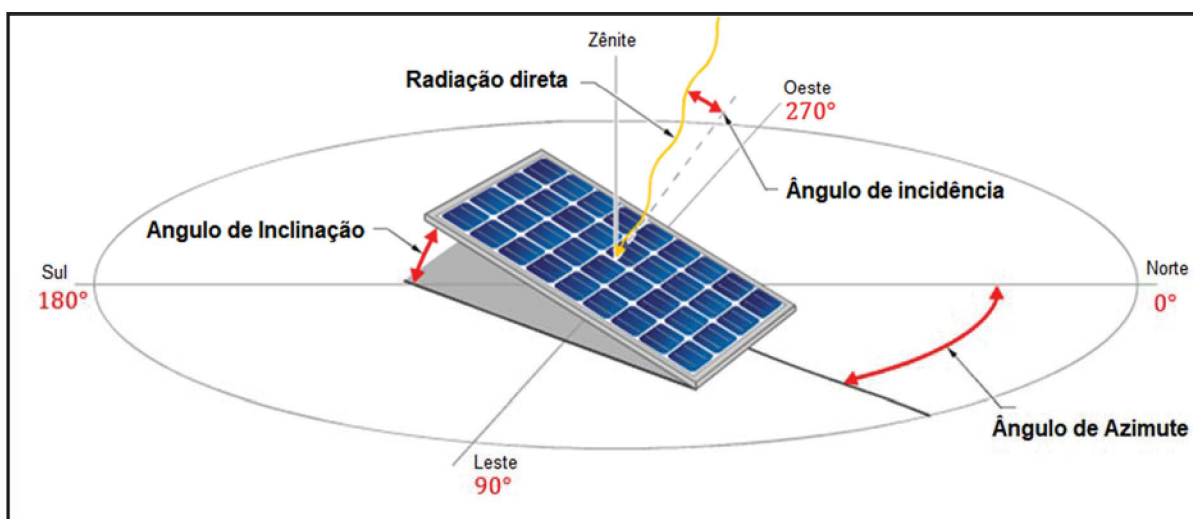
FONTE: LASER FOCUS WORLD (2009).

Com o objetivo de buscar um melhor aproveitamento da componente direta da incidência luminosa, a qual possui mais energia, os dispositivos coletores de energia solar podem seguir o caminho aparente do Sol, com o auxílio de dispositivos para movimentar as placas, ou podem ser dispostos em uma posição fixa que tenha uma boa média de aproveitamento, a fim de receber a maior quantidade de luz solar possível (HINRICHS, 2010).

Sendo assim, a Figura 10 expõe que as placas solares são orientadas conforme um ângulo de inclinação e um ângulo azimutal. O ângulo de inclinação é o arco medido sobre o círculo vertical terrestre, variando de 90° Sul (-90°) até 90° Norte (+90°). Já o ângulo azimutal é o arco medido sobre o horizonte, no sentido horário e com origem no ponto cardeal Norte, variando de 0° a 360° (OLIVEIRA FILHO e SARAIVA, 2014).

A radiação solar que incide sobre uma superfície em um determinado local e instante é chamada de irradiação e é expressa em watt-hora por metro quadrado-dia ( $\text{Wh/m}^2\cdot\text{dia}$ ) e ela sofre variações até alcançar a superfície da Terra por causa dos fenômenos atmosféricos. Neste sentido, quando a irradiação é expressa em termos de potência, ela é chamada de irradiância e sua unidade é o watt por metro quadrado ( $\text{W/m}^2$ ) (LOPEZ, 2012).

FIGURA 10 - POSICIONAMENTO DOS MÓDULOS DE ENERGIA SOLAR



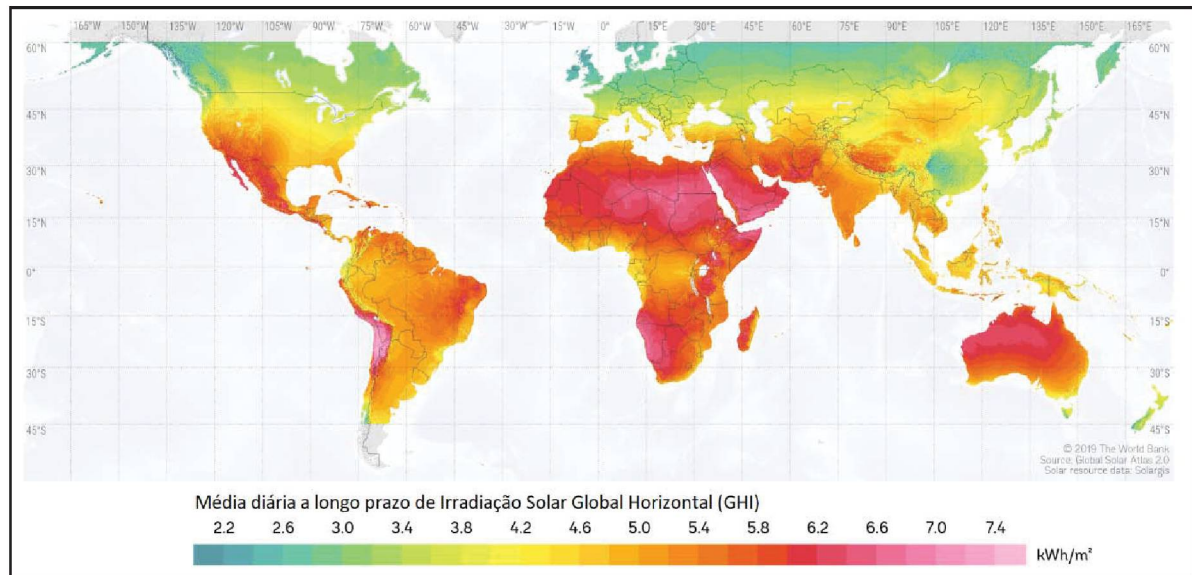
FONTE: SOLAR-ENERGIA (2016).

Observa-se que a irradiância solar direta na superfície terrestre, em condições de ausência de nuvens, pode chegar até  $1000 \text{ W/m}^2$  no horário de Sol a pino (LOPEZ, 2012). Contudo, as nuvens e as partículas no ar tendem a dispersar ou absorver a radiação solar, reduzindo este valor. Em contrapartida, materiais claros reflexivos como neve, areia e água podem aumentar esta incidência luminosa.

Assim, a irradiação solar global horizontal mostra o valor de irradiação resultante sobre uma superfície considerando estes aspectos e as horas de sol diárias (HINRICHS, 2010). Neste sentido, o mapa da Figura 11 mostra estes valores de irradiação para cada região no mundo.



FIGURA 11 – MAPA MUNDIAL DA IRRADIAÇÃO SOLAR GLOBAL HORIZONTAL



FONTE: GLOBAL SOLAR ATLAS (2017).

Observa-se no mapa que as regiões áridas possuem um índice de irradiação maior que as regiões equatoriais. Também é possível verificar que quase toda a extensão brasileira possui índices de luminosidade maiores que a maior parte dos países da Europa. Sendo assim, cada região de cada continente possui condições únicas de irradiação solar que foram mapeadas e estão em banco de dados, alguns disponíveis para consulta ou para utilização em programas de cálculos solarimétricos.

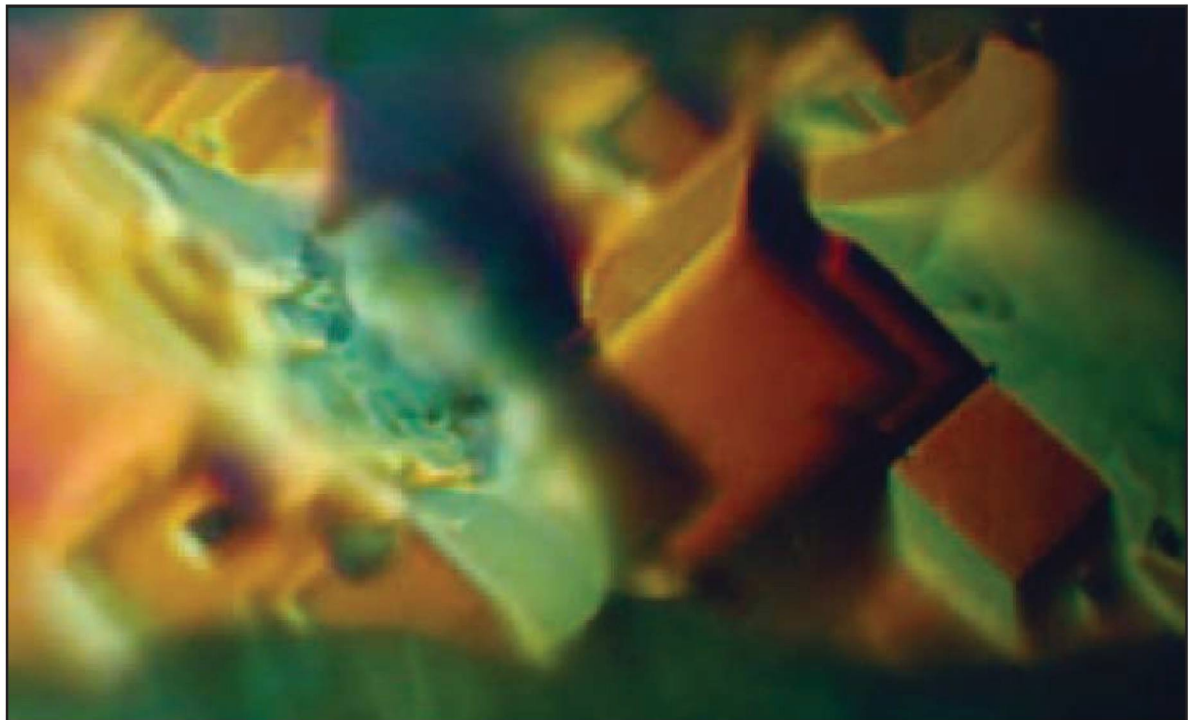
### 2.2.3 Células Solares e Efeito Fotovoltaico

A conversão direta da energia solar, em forma de calor e luz, em energia elétrica ocorre por meio dos materiais semicondutores devido ao efeito fotovoltaico. Esta conversão da luz em energia elétrica é feita com base na construção das células solares, que geralmente utilizam silício. Assim, a célula solar é um dispositivo utilizado para produção de eletricidade que converte os fótons de maneira silenciosa e sem emissão de gases (LOPEZ, 2012; LAMBERTS *et al.*, 2010).

Os átomos dos semicondutores se caracterizam por possuírem quatro elétrons em sua camada de valência e, assim como o germânio, o silício cristalino apresenta uma estrutura molecular cúbica que se repete nas três dimensões de sua rede cristalina. A Figura 12 mostra a predominância da formação cúbica da estrutura molecular dos cristais de silício em uma rede cristalina com dopagem (LOPEZ, 2012).



FIGURA 12 - IMAGEM EM MICROSCOPIA ÓTICA DO SILÍCIO POLICRISTALINO



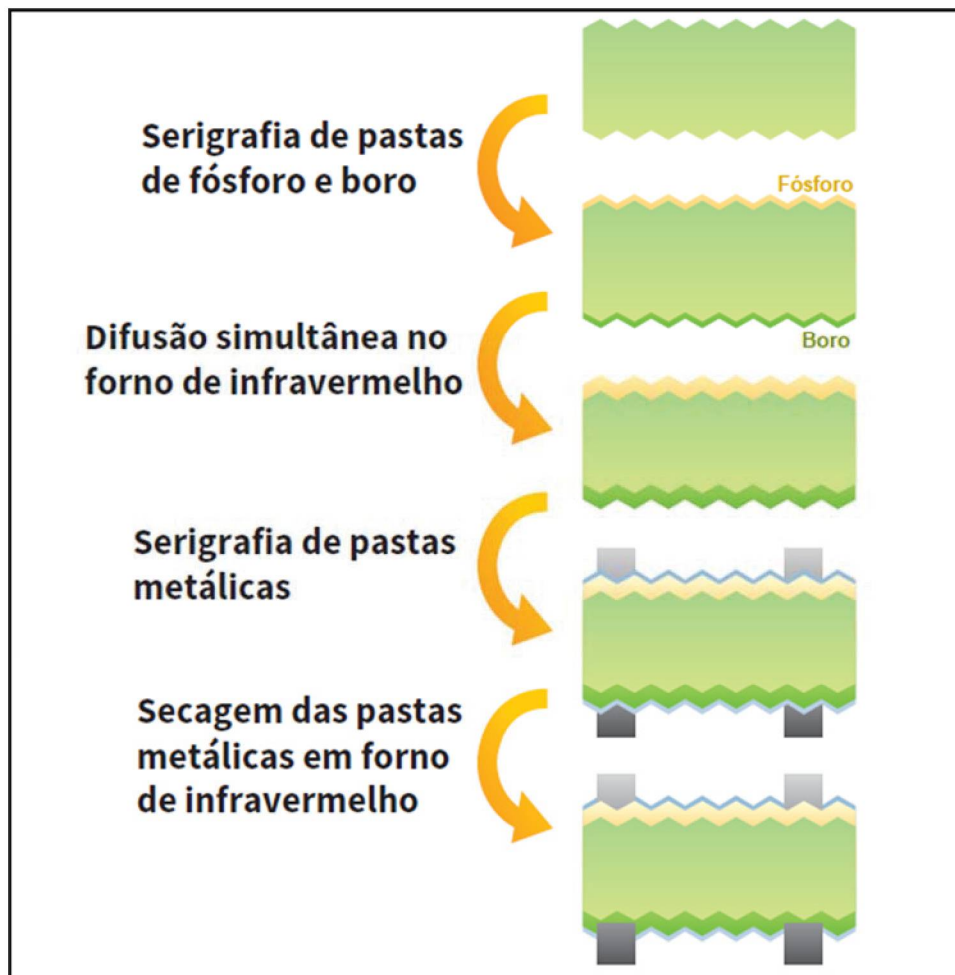
FONTE: EUROPEAN COMMISSION (2009).

Sabe-se que o cristal de silício puro não possui elétrons livres. Entretanto, as características dos materiais semicondutores puros podem ser modificadas pela adição de determinados átomos de impurezas. Então, pode-se adicionar dopantes como o fósforo, que é considerado um dopante doador de elétrons tipo *n*, ou o boro, que é um dopante receptor de elétrons, tipo *p* (TOLMASQUIM, 2003).

Durante o processo de fabricação das células solares, fósforo e boro são depositados através de pastas nas faces superior e inferior da pastilha de silício, respectivamente. Além disso, são depositados também circuitos impressos sobre a pastilha, a fim de conduzir e escoar a energia produzida no interior da célula. A Figura 13 expõe estas etapas de transformação da pastilha de silício em célula solar, a qual atualmente possui espessura entre 0,1 e 0,2 mm (TOLMASQUIM, 2003; EUROPEAN COMMISSION, 2009).

Destaca-se que a secagem das impressões é feita com infravermelhos, evitando danificar as células com excesso de calor. Neste ponto de vista, a tecnologia de fabricação de células solares tende a ser simples e eficiente, a fim de ser aplicada em linhas industriais padrão com apenas pequenas modificações (EUROPEAN COMMISSION, 2009).

FIGURA 13 - PRINCIPAIS ETAPAS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CÉLULAS BIFACIAIS DE ENERGIA SOLAR

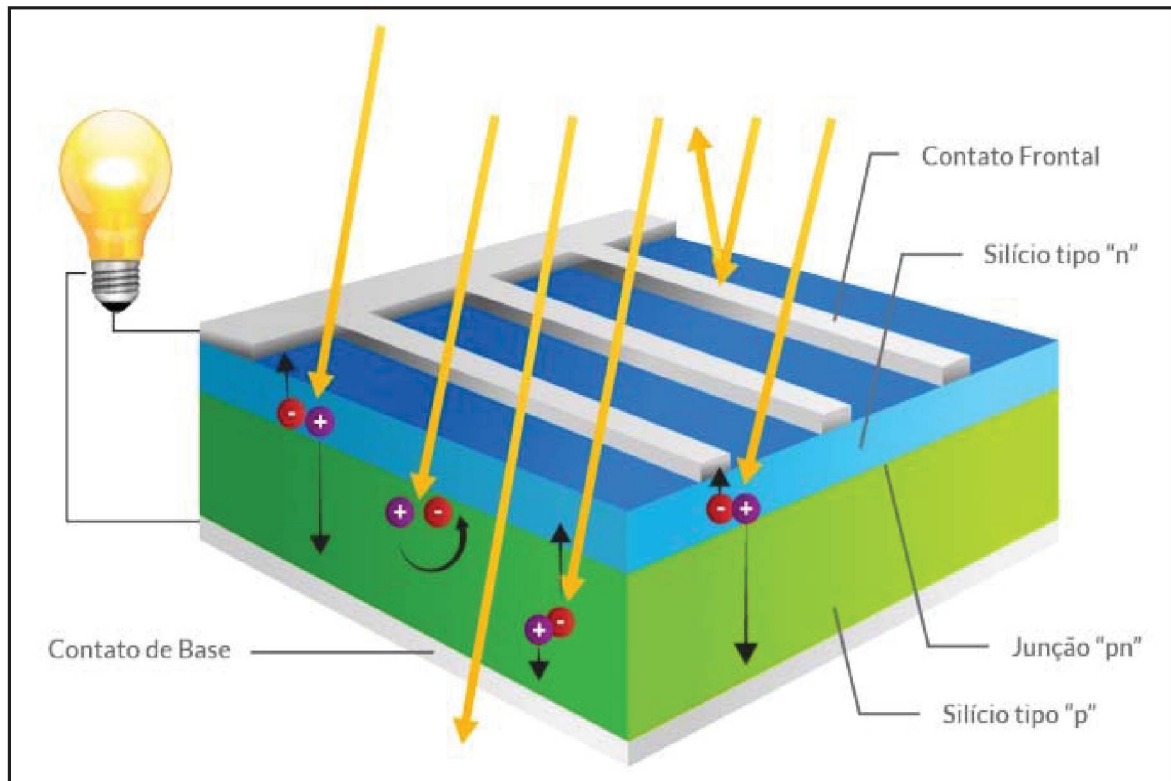


FONTE: EUROPEAN COMMISSION (2009).

Se uma pastilha de silício for dopada com átomos de boro de um lado (lado tipo  $p$ ) e com átomos de fósforo do outro (lado tipo  $n$ ), será formada uma junção  $pn$ . No espaço desta junção, os elétrons livres do lado  $n$  passam para o lado  $p$ , capturados pelas lacunas, havendo um acúmulo de elétrons do lado  $p$ . Assim, o lado  $p$  da junção se torna negativamente carregado, pelo excesso de elétrons, e o lado  $n$  se torna positivamente carregado, pela redução de elétrons. Então, estas cargas retidas produzem um campo elétrico que impede a passagem de mais elétrons, criando uma barreira para os elétrons livres (JÄGER *et al.*, 2014).

A Figura 14 ilustra o Efeito Fotovoltaico, descoberto por Edmond Becquerel, que ocorre quando a junção  $pn$  é exposta a fótons com energia suficiente para vencer esta barreira, provocando os elétrons a se desprenderem das lacunas (LOPEZ, 2012).

FIGURA 14 - EFEITO FOTOVOLTAICO MOVIMENTANDO OS ELÉTRONS E AS LACUNAS NA CÉLULA SOLAR



FONTE: CRESESB (2008).

Consequentemente, estas cargas são aceleradas em direções opostas dentro deste campo elétrico, havendo circulação de elétrons e, caso as extremidades do silício sejam conectadas por meio de materiais condutores, haverá a passagem de corrente elétrica no circuito. Portanto, quanto maior a quantidade de luz, maior o fluxo de corrente elétrica na forma contínua (LOPEZ, 2012).

Observa-se que cada célula solar é caracterizada por possuir uma tensão e uma corrente específica em seus terminais, variando com as condições de irradiação solar e temperatura. Então, devido as oscilações de potência em função da irradiação solar, os módulos fotovoltaicos são caracterizados por sua potência nominal dada em Watt-pico (Wp). Esta definição de potência de pico é regida sob as condições padrão STC (*Standard Test Conditions*), considerando irradiância solar total de  $1000 \text{ W/m}^2$ , distribuição de espectro padrão AM 1.5 e temperatura da célula igual a  $25^\circ\text{C}$  (PINHO e GALDINO, 2014).



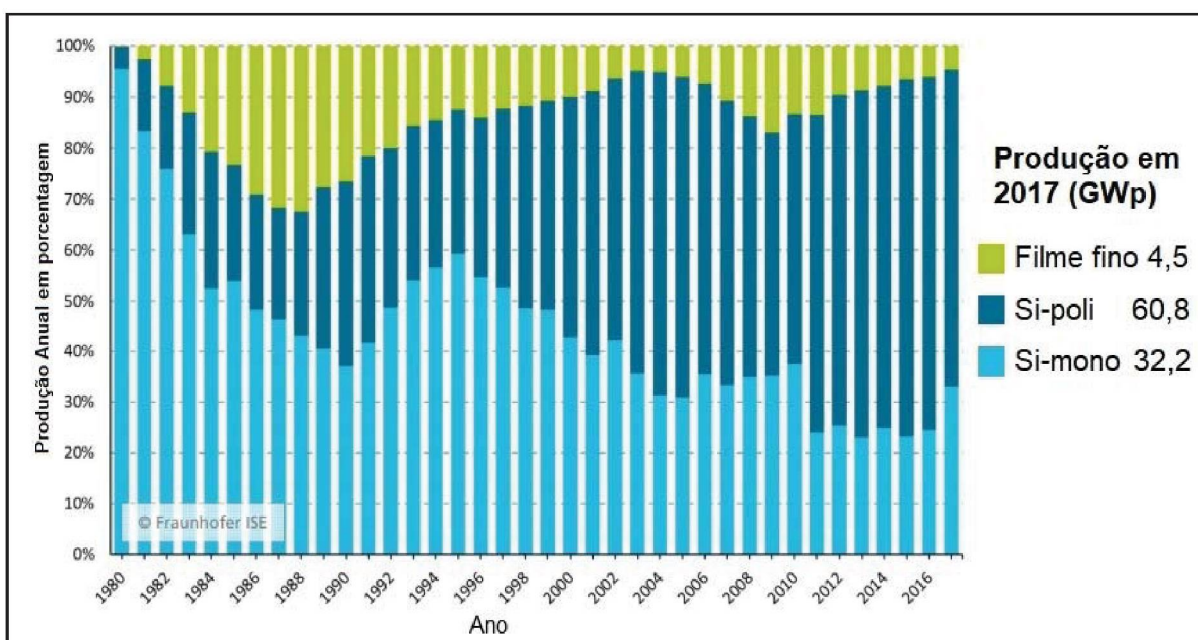
## 2.2.4 Módulos Fotovoltaicos Comerciais

A primeira geração das tecnologias atualmente empregadas na fabricação dos painéis fotovoltaicos é composta pelos materiais silício monocristalino e silício policristalino. Com o avanço de estudos e investimentos ao longo dos anos, estas tecnologias encontram-se agora consolidadas, com alta confiabilidade e o melhor custo-benefício, ocupando 85% do mercado (FRAUNHOFER ISE, 2019).

Deste modo, a vida útil destes módulos fotovoltaicos é atualmente bastante longa, com garantia média de 25 anos de rendimento. Assim, a conversão fotovoltaica se tornou uma fonte diária de energia elétrica que funciona por muito tempo. Logo, o uso crescente da geração fotovoltaica despertou o estudo de outros materiais e tecnologias como a de filmes finos ou de células fotovoltaicas de concentração, de segunda geração, e de células fotovoltaicas orgânicas ou nanocristalinas, de terceira geração (PINHO e GALDINO, 2014).

Contudo, as condições de fabricação e utilização não tornaram estas outras tecnologias viáveis para o mercado e atualmente ainda não se encontram sob considerável utilização para geração de energia elétrica em relação às de primeira geração (EUROPEAN COMMISSION, 2009). Neste sentido, a Figura 15 mostra a expansão e domínio das células de silício policristalinas ao longo dos últimos 40 anos.

FIGURA 15 - PROPORÇÃO DA PRODUÇÃO MUNDIAL POR TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA



FONTE: FRAUNHOFER ISE (2019).

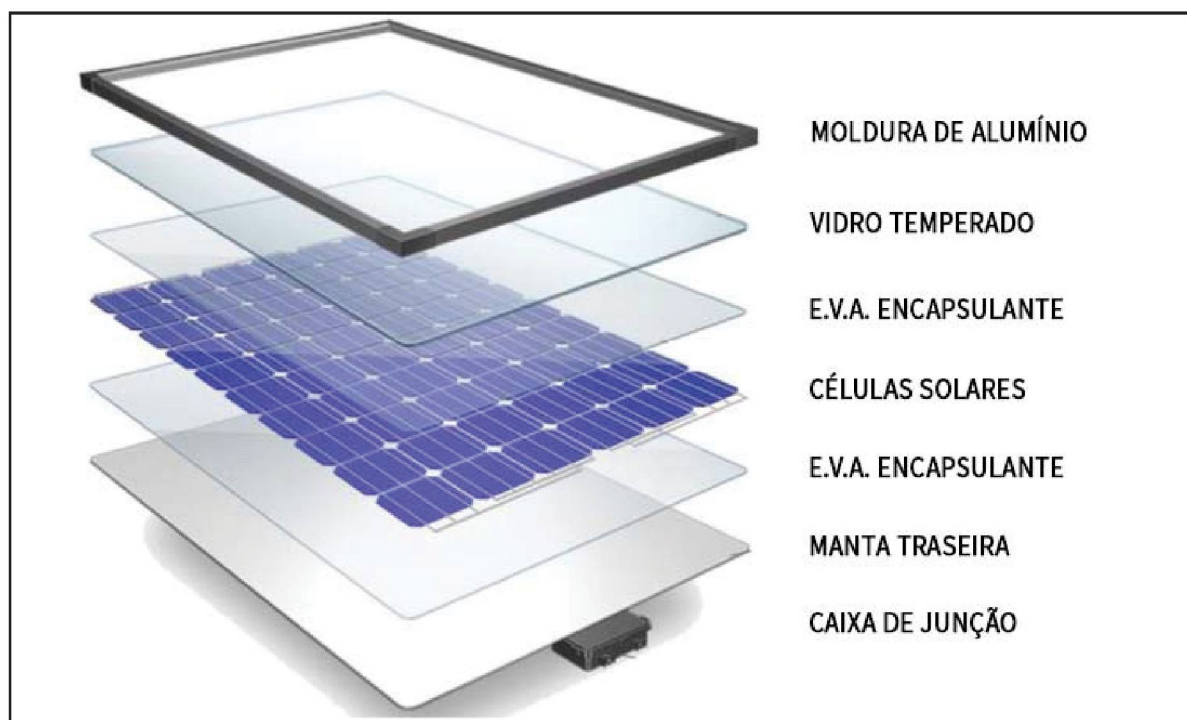


Seguindo a lógica, os módulos fotovoltaicos são projetados e fabricados para acomodar as células solares e suas conexões elétricas, a fim de oferecer estrutura para fixação e proteção contra danos mecânicos e ambientais. Assim, os módulos constituídos de células de silício cristalino são normalmente rígidos e resistentes, podendo ter moldura metálica ou vidro duplo, de modo a serem fáceis de transportar e instalar (RÜTHER, 1998).

A montagem dos módulos é feita em camadas ilustradas no esquema da Figura 16. As células são dispostas emparelhadas e conectadas por filamentos metálicos. Duas camadas de *EVA* abrangem as células acima e abaixo, de modo a encapsulá-las (CLEAN ENERGY REVIEWS, 2018).

Um vidro temperado especial, muito mais claro e com baixa reflexividade que o vidro temperado comum, é adicionado na frente dos módulos, a fim de sustentar as camadas e proteger mecanicamente as células, permitindo uma boa passagem de luz. Na maioria dos casos, uma manta cobre a traseira do sistema e uma moldura metálica de alumínio é fixada nas extremidades. A caixa de junções contém diodos e auxilia na inserção dos cabos conectores (CLEAN ENERGY REVIEWS, 2018).

FIGURA 16 - CAMADAS DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO



FONTE: CLEAN ENERGY REVIEWS (2018).

Sendo assim, ao se considerar tanto o processo de fabricação e instalação quanto o funcionamento, os sistemas fotovoltaicos com base em silício conectados à rede emitem muito menos CO<sub>2</sub> e outros poluentes do que as fontes elétricas de origem em carvão, óleo e gás natural (TOLMASQUIM, 2003). Portanto, esta tecnologia tem se difundido e está hoje consolidada no mercado mundial.

#### 2.2.5 Características Elétricas das Células e dos Módulos Fotovoltaicos

Quando um módulo é exposto à radiação solar, ele apresenta em seus terminais uma tensão com características próprias e diferentes em cada módulo. Então, os valores de tensão, corrente e potência de um módulo são especificados pelo fabricante e são medidos sob condições-padrão STC de referência para ensaio (ABNT, 2006).

Os módulos fotovoltaicos possuem quantidades e formatos de células adequados para cada finalidade. Para a utilização *off-grid*, os módulos são configurados para se manter tensões múltiplas de 12 V, a fim de que os módulos sejam compatíveis com as baterias utilizadas (MESSENGER e VENTRE, 2004).

Já para as utilizações *grid-tie*, os inversores sempre possuem Rastreador de Ponto de Máxima Potência (*MPPT*) e, portanto, os valores operacionais de tensão e corrente de cada módulo podem sempre ser maximizados. Assim, os módulos *grid-tie* são maiores e geralmente com o triplo da tensão dos módulos *off-grid*, mas os inversores devem ser compatíveis com as configurações de tensão e corrente das *strings* utilizadas (JÄGER *et al.*, 2014).

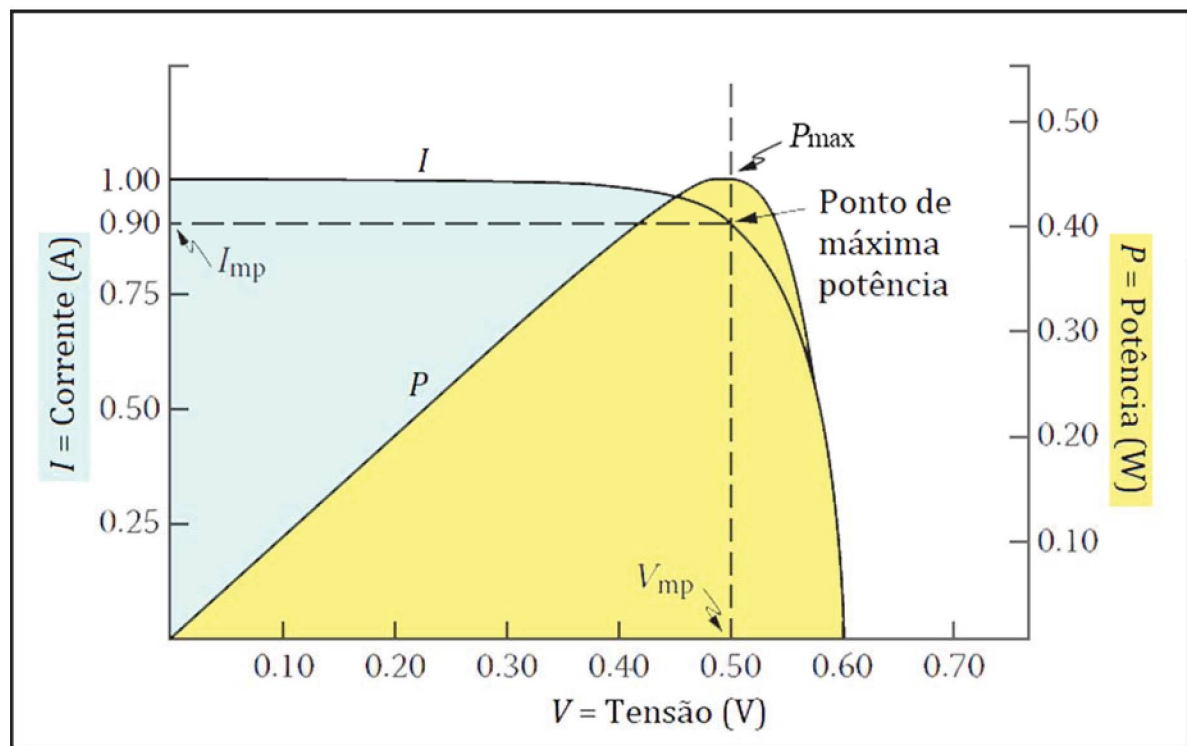
Os parâmetros da curva corrente-tensão de funcionamento dos módulos fotovoltaicos sempre são identificados sob padronização STC, determinados sob condições específicas de radiação e temperatura. A corrente de curto circuito ( $I_{sc}$ ) é a máxima corrente que pode ser entregue em tensão nula e a tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ) é a máxima tensão que pode ser entregue em corrente nula (TOLMASQUIM, 2003).

Na sequência, a potência de pico ( $P_{mp}$ ) ou potência nominal é o valor máximo de potência que pode ser entregue, correspondendo ao ponto da curva onde  $V \times I$  é máximo. Então, a corrente de máxima potência ( $I_{mp}$ ) e a tensão de máxima potência ( $V_{mp}$ ) são os valores nominais referentes à potência nominal (TOLMASQUIM, 2003).

A Figura 17 ilustra duas curvas características de células fotovoltaicas, de corrente e potência em função da tensão. Nela está destacado o ponto onde a é obtido o maior valor de potência de funcionamento, no qual observa-se que este valor não está relacionado com o máximo dos valores de tensão ou de corrente.

Este gráfico também expõe os valores de corrente e tensão na condição de máxima potência de funcionamento. Os valores para células mais potentes ou módulos completos são proporcionais e seguem o mesmo padrão, de acordo com um fator de preenchimento ( $FF$ ) típico.

FIGURA 17 - CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE CORRENTE, TENSÃO E POTÊNCIA DE UMA CÉLULA SOLAR DE 0,45 WP



FONTE: GOSWAMI (2014).

Quando ainda não se sabe o tamanho da célula fotovoltaica, torna-se mais apropriado indicar a corrente relacionada a área da célula ou da área coberta com células. A relação entre a corrente elétrica ( $I$ ) e a área ( $A$ ) é a densidade de corrente elétrica ( $J$ ) e é indicada pela Equação 1 (GOSWAMI, 2014).

$$I = J \cdot A \quad (1)$$

Quando se estuda o funcionamento dos módulos fotovoltaicos, os termos de corrente são expressos de acordo com o tamanho já conhecido das células dispostas. Assim, a tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ) está relacionada à corrente de curto circuito ( $I_{sc}$ ) através da Equação 2 (GOSWAMI, 2014).

$$V_{oc} = \frac{k \cdot T_c}{e} \cdot \ln \left( \frac{I_{sc}}{I_o} + 1 \right) \quad (2)$$

Onde:

- $I_o \rightarrow$  corrente elétrica de saturação reversa (A), característica de cada célula fotovoltaica;
- $k_B \rightarrow$  constante de Boltzmann que vale 13,81 yJ/V;
- $e \rightarrow$  carga elementar que vale 160,2 zJ/K;
- $T_c \rightarrow$  temperatura da célula em Kelvins (K).

A tensão de máxima potência ( $V_{mp}$ ) também pode ser expressa nos mesmos termos na Equação 3, podendo ser solucionada por iteração computacional ou por tentativa e erro (GOSWAMI, 2014).

$$\left( 1 + \frac{e \cdot V_{mp}}{k \cdot T} \right) \cdot \exp \left( \frac{e \cdot V_{mp}}{k \cdot T_c} \right) = \frac{I_{sc}}{I_o} + 1 \quad (3)$$

Seguindo o raciocínio, pode-se expressar a corrente de máxima potência ( $I_{mp}$ ) e a máxima potência ( $P_{mp}$ ) a partir dos mesmos termos conforme as equações 4 e 5 (GOSWAMI, 2014).

$$I_{mp} = \left( \frac{\frac{e \cdot V_{mp}}{k \cdot T_c}}{1 + \frac{e \cdot V_{mp}}{k \cdot T_c}} \right) \cdot (I_{sc} + I_o) \quad (4)$$

$$P_{mp} = V_{mp} \cdot I_{mp} \quad (5)$$



Sendo assim, define-se o  $FF$  como sendo a razão entre a potência máxima gerada por uma célula ou módulo solar e o produto  $V_{oc}$  com  $I_{sc}$ . O fator de preenchimento é definido na Equação 6. O fator de preenchimento é um componente que caracteriza a célula ou módulo. Ele permite a fácil identificação do padrão da curva tensão-corrente do módulo ou célula fotovoltaica a fim de observar sua proximidade do comportamento ideal (GOSWAMI, 2014).

$$FF = \frac{V_{mp} \cdot I_{mp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (6)$$

Por fim, o rendimento de uma célula ou de um módulo solar fotovoltaico pode ser encontrado através da Equação 7, a qual envolve a potência solar de entrada ( $P_{in}$ ), que pode ser expressa em termos de irradiância total ( $G$ ) dada em  $W/m^2$  (GOSWAMI, 2014).

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{\left( \frac{V_{mp} \cdot I_{mp}}{A} \right)}{G} \quad (7)$$

O rendimento da célula ou módulo varia conforme a tecnologia empregada. Parâmetros comuns da tecnologia de silício cristalino operam com  $FF$  entre 0,75 e 0,8, com eficiência de conversão energética ficando entre 17% e 18% (GOSWAMI, 2014; TOLMASQUIM, 2003).

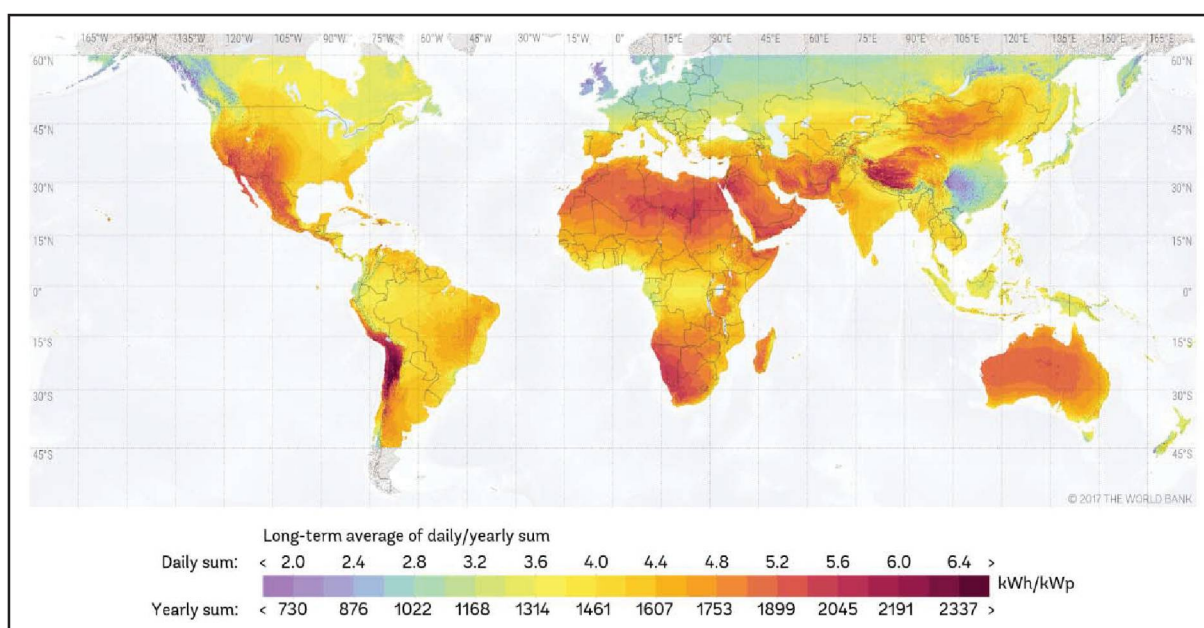
#### 2.2.6 Arranjos Fotovoltaicos e Produtividade

A utilização da energia solar fotovoltaica para produção de eletricidade é hoje considerada como ambientalmente amigável por não gerar emissões durante seu funcionamento e não utilizar combustíveis fósseis. Opera sem ruído e não possui partes móveis e, deste modo, possui requisitos mínimos de manutenção, ao comparar-se com outras tecnologias, funcionando inclusive em condições de tempo nublado. Neste sentido, a produtividade do sistema fotovoltaico é a razão entre a quantidade de energia elétrica produzida em um determinado período, geralmente

diária média ou anual, e a potência nominal instalada do gerador fotovoltaico, dando-se em kilowatt-hora por kilowatt-pico (kWh/kWp) (PINHO e GALDINO, 2014).

Relacionado a isso, o mapa da Figura 18 mostra o potencial de possível produção de energia solar fotovoltaica nas diferentes regiões do planeta. Observa-se que o gráfico de produtividade se difere dos gráficos de radiação solar, como o da Figura 11, pois inclui todas as componentes de radiação e outros parâmetros como temperatura do ar, altitude, albedo, velocidade do vento e demais condições geográficas locais, os quais influenciam diretamente na quantidade de eletricidade a ser gerada (GLOBAL SOLAR ATLAS, 2016).

FIGURA 18 - MAPA DO POTENCIAL FOTOVOLTAICO MUNDIAL



FONTE: GLOBAL SOLAR ATLAS (2017).

Um módulo fotovoltaico é um dispositivo fotovoltaico dimensionado e montado dentro das fábricas. Ele contém uma certa quantidade de células fotovoltaicas de acordo com sua finalidade. Atualmente, a maioria dos módulos monocristalinos e policristalinos conta com 60 ou 72 células ou, caso sejam constituídos de meia célula, podem ter outras quantidades (PINHO e GALDINO, 2014).

Vários módulos fotovoltaicos conectados em série formam uma *string*. Um painel fotovoltaico é constituído por vários módulos dispostos juntos sob uma única inclinação e orientação. Nesta sequência, um arranjo fotovoltaico é composto por alguns ou vários painéis fotovoltaicos, conectados em série, paralelo ou em diferentes MPPTs do inversor, na mesma orientação ou não (JÄGER *et al.*, 2014).



A fim de se formar uma *string*, uma quantidade de  $n$  módulos são conectados unindo-se o terminal positivo de um módulo com o terminal negativo de outro, em sequência. Esta conexão resulta em uma associação em série que segue a condições elétricas das Equações 8 e 9 (PINHO e GALDINO, 2014).

$$V_{string} = V_1 + V_2 + \dots + V_n = n \cdot V_{módulo} \quad (8)$$

$$I_{string} = I_1 = I_2 = \dots = I_n = I_{módulo} \quad (9)$$

Estas *strings* são conectadas ao inversor por meio de um par de cabos especiais com proteção ultravioleta (UV), um vermelho para o positivo e um preto para o negativo (JÄGER *et al.*, 2014). A Figura 19 ilustra um arranjo fotovoltaico com dois painéis, um orientado mais à noroeste e outro orientado mais a sudeste, cada um com duas *strings* de 8 módulos de 72 células.

FIGURA 19 - RESIDÊNCIA COM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONTENDO QUATRO STRINGS INSTALADO EM GD



FONTE: O AUTOR (2020).

As *strings* fotovoltaicas em sistemas conectados em GD geralmente possuem entre 7 e 20 módulos fotovoltaicos, no caso dos módulos de 72 células. Esta conexão de *strings* no inversor pode ser disposta em um ou mais *MPPTs*. Sendo assim, as  $n_s$

*strings* que são unidas em um mesmo *MPPT* realizam uma conexão em paralelo, formando um arranjo que segue a condições elétricas das Equações 10 e 11 (PINHO e GALDINO, 2014).

$$V_{arranjo} = V_1 = V_2 = \dots = V_{n_s} = V_{string} \quad (10)$$

$$I_{arranjo} = I_1 + I_2 + \dots + I_{n_s} = n_s \cdot I_{string} \quad (11)$$

Sendo assim, existem várias possibilidades para dispor e conectar os módulos, cabendo ao engenheiro projetar adequadamente e verificar a compatibilidade entre os dispositivos.

## 2.2.7 Inversores Fotovoltaicos e Processamentos de *MPPT*

Como os módulos fotovoltaicos geram energia em corrente contínua, são necessários conversores elétricos para que se possa realizar a conexão com a rede de corrente alternada, os quais são chamados de inversores fotovoltaicos (VILLALVA e GAZOLI, 2012).

Observa-se na Figura 20 que junto aos inversores também são instaladas as proteções do lado de corrente contínua, contendo chaves seccionadoras e Dispositivos de Proteção contra Surto (DPS) de corrente contínua (CC), e de corrente alternada, com disjuntores e DPS de corrente alternada (CA) (VILLALVA e GAZOLI, 2012).

Entretanto, alguns inversores contam com estas proteções internamente e, quando possuem característica modular para substituição, podem dispensar a proteção externa (VILLALVA e GAZOLI, 2012; FRONIUS, 2019b).

Os inversores e os sistemas de armazenamento de energia tiveram grandes avanços no sentido de aperfeiçoamento e redução de custos. Neste sentido, o desenvolvimento de inversores e de equipamentos complementares para sistemas fotovoltaicos luta para alcançar confiabilidade e vida útil próximos aos dos módulos, dos quais a maioria das fábricas oferecem garantia de 25 anos de eficiência (PINHO e GALDINO, 2014).



FIGURA 20 - INVERSOR FOTOVOLTAICO COM PROTEÇÕES EXTERNAS



FONTE: O AUTOR (2020).

Como a geração de energia através de módulos solares fotovoltaicos funciona somente durante os horários de incidência solar, a conexão com a concessionária permite que a energia excedente de produção seja injetada na rede e, posteriormente, compensada da energia comumente recebida durante a noite ou em dias chuvosos. Assim, a conexão com a rede por meio da GD, com sistemas do tipo *grid-tie*, aprimora e otimiza a compensação energética e, na maioria dos casos, dispensa o uso de baterias no sistema (MICHELETTI, 2017; OLIVEIRA, 2017; PINHO e GALDINO, 2014).

Os atuais inversores fotovoltaicos são fabricados de forma com que a potência de saída não exceda sua potência nominal. O *oversizing* é uma prática atualmente muito utilizada no setor fotovoltaico, pois consegue incrementar a geração de energia principalmente nos meses de inverno e nos horários com menor irradiação solar, com o objetivo de elevá-lo à sua capacidade total com maior frequência. Isso maximiza a produção de energia durante as condições de menor luminosidade (ABB, 2017; FRONIUS, 2019b; VILLALVA e GAZOLI, 2012).

Alguns inversores também podem contar com portas de comunicação para conexão com dispositivos medidores ou de proteção elétrica externa compatíveis.

Além disso, podem haver pinos de saída para alarmes e sinalização de falhas ou emergências (ABB, 2017; FRONIUS, 2019a).

A maioria dos inversores vem com um tipo de comunicação serial que geralmente são do tipo *RS232* ou *RS485*, a fim de conectá-los a um computador para atualização, configurações avançadas ou envio de informações. Outra opção são as portas *USB*, que podem vir a fim de facilitar a atualização do *firmware* dos inversores (ABB, 2017; FRONIUS, 2019a).

Os inversores incluem diferentes tipos de interfaces com finalidades de advertência, de monitoramento e de controle do funcionamento do sistema (ABB, 2017). A primeira é o painel físico, o qual inclui *LEDs* de indicação e advertência, a chave principal para acionamento do sistema e pode incluir também um painel funcional para visualização do funcionamento e alteração de opções, conforme mostrado na Figura 21.

FIGURA 21 - PAINEL FÍSICO DE UM INVERSOR FRONIUS, A) *LEDs* INDICATIVOS DE STATUS, B) DISPLAY, C) BOTÕES DE NAVEGAÇÃO



FONTE: O AUTOR (2020).

O processamento e comunicação dos dados registrados pelo inversor geralmente é feita por *dataloggers*, que podem vir internamente de fábrica ou podem

ser adicionados como acessórios. Estes dispositivos de comunicação podem ser conectados em pontos de acesso *Wi-Fi* ou por meio da conexão de cabos de rede com internet. Assim, o inversor é capaz de se conectar à um servidor central que redireciona as informações aos usuários de maneira mais intuitiva e simplificada (FRONIUS, 2019a).

Os módulos fotovoltaicos poderiam possuir conversores integrados para que produzam energia compatível diretamente com a rede, mas nenhum módulo CA está comercialmente disponível até agora. Logo, o fabricante dos inversores e o fabricante dos módulos fotovoltaicos ainda são duas entidades separadas, as quais entregam um produto que é otimizado e fabricado independentemente (EUROPEAN COMMISSION, 2009).

### 2.3 HOMOLOGAÇÃO DE PROJETO EM GD

Para se desenvolver corretamente o projeto e execução de um sistema gerador com potência instalada superior a 75 kW, foi necessário analisar os aspectos técnicos de homologação na modalidade de Minigeração Distribuída, presentes nas regulamentações normativas brasileiras junto das normas técnicas da companhia local.

O módulo 3 do PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional) é um documento que estabelece as condições de acesso para GD e é aprovado através das normativas da ANEEL. Este documento estabelece como obrigatório a emissão de um documento formal a fim de realizar a solicitação de acesso à conexão de um sistema de geração de energia à rede da concessionária local (ANEEL, 2016).

A solicitação de acesso é o requerimento preenchido pelo acessante que dá início ao processo. É obrigação da distribuidora, manter em seu site os modelos de formulários de solicitação de acesso, conforme potência instalada da geração, e detalhamento das exigências documentais de cada empreendimento. Um dos modelos de formulário é específico para Minigeração, com potência superior a 75 kW (ANEEL, 2012; ANEEL, 2016).

A solicitação de acesso deve ser solicitada por um Responsável Técnico com registro em situação regular no CREA (Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura). O formulário é preenchido com informações da UC na qual o sistema



gerador será instalado, contendo dados do local, dados do proprietário e dados elétricos. No setor de geração de energia distribuída, a obrigatoriedade da Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) se faz presente como um dos requisitos para serem encaminhados à distribuidora de energia, devendo ser condizente ao projeto e constar os serviços executados (ANEEL, 2016; CREA-PR, 2020).

O CREA afirma que a principal finalidade da ART é identificar e relacionar os profissionais vinculados à obra e serviços de engenharia com a consequente atribuição de responsabilidades. Deste modo, apenas emite a ART os profissionais habilitados e cadastrados pelo respectivo conselho profissional. A ausência de ART do serviço específico compromete, em caso de erros ou falhas, a identificação de responsáveis técnicos no âmbito civil e penal. Sendo assim, a ART serve para dar respaldo jurídico e proteger a sociedade (CREA-PR, 2020).

Para Habilitação do Responsável Técnico, o Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA), decidiu que as atividades de projeto, perícia, parecer e respectivos laudos técnicos referentes aos sistemas de Microgeração e Minigeração de Energia Elétrica deverão ser executados por pessoas físicas devidamente registradas no CREA, sob a responsabilidade técnica de Engenheiro Eletricista, Engenheiro de Energia ou outro, desde que tenha anotado em suas atribuições o Artigo 8º da Resolução nº 218/73 ou o Artigo 2º da Resolução nº 1076/16 do CONFEA (ANEEL, 2016; CREA-PR, 2020).

Junto com a solicitação é necessário entregar as demais documentações exigidas para cada categoria de GD. O Memorial Descritivo é um dos itens que pode ser pedido no projeto (ANEEL, 2012; ANEEL, 2016). Ele normalmente contém as informações detalhadas do dimensionamento e disposição do sistema gerador.

Outro item é o diagrama elétrico, que ilustra a ordem das conexões CC e CA utilizadas no projeto (ANEEL, 2012; ANEEL, 2016). Ele evidencia os principais componentes do sistema elétrico a ser implementado, além de ser útil para verificar qual o trajeto que a energia percorrerá.

Após enviado o projeto, a distribuidora deve entregar ao acessante um recibo da formalização da solicitação de acesso e tem um prazo para realizar a análise do projeto (ANEEL, 2012; ANEEL, 2016). A Figura 22 expõe as etapas do procedimento de homologação, além dos prazos estabelecidos.

Dos itens analisados no projeto, é verificado se o sistema gerador de energia possui potência de saída menor que a potência correspondente que o disjuntor



limita e menor que a potência total do transformador. A potência de saída é definida como sendo a menor das potências entre o inversor e o arranjo fotovoltaico (ANEEL, 2015a).

No Brasil, os critérios para a certificação dos inversores são estabelecidos pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), uma autarquia federal, que é vinculada ao Ministério da Economia e à Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (INMETRO, 2015).

FIGURA 22 - ETAPAS DO PROCEDIMENTO DE HOMOLOGAÇÃO EM GD



FONTE: ANEEL (2016) E FRONIUS (2012).

Os inversores com potência menor ou igual 10 kW, devem atender os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 16149 e ABNT NBR IEC 62116 e requisitarem a certificação do INMETRO. Já os inversores com potência maior que 10 kW devem apresentar certificados que comprovem a conformidade do inversor, sem a necessidade de obterem a certificação do INMETRO (INMETRO, 2015).

## 2.4 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL PARANAENSE PARA ENERGIA SOLAR

A Geração Distribuída com Energias Renováveis (GDER) foi instituída no Paraná através da Lei 17.188/2012, a qual institui a política estadual de GDER no estado do Paraná e traz ao estado os primeiros passos para o desenvolvimento de políticas energéticas baseadas nas fontes renováveis (PARANÁ, 2012).

Também foram definidas algumas competências, como a do artigo 7º que prevê que Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER) poderá oferecer a seu público alvo serviços de elaboração de projetos, compor equipes técnicas para essa finalidade e fornecer assistência técnica na produção das matérias-primas necessárias aos projetos de GDER de pequeno porte, conforme já estabelece em seus objetivos legais, além de esclarecer no artigo 8º sobre a necessidade de autorização ou licenciamento ambiental (PARANÁ, 2012).

Cada estado possui sua própria regulamentação e fiscalização ambiental. Sendo assim, a legislação ambiental paranaense é regida pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP) e estabelece que os empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte solar, com potência instalada inferior a 1 MW e conectados à rede da concessionária, são tratados com inexigibilidade de licenciamento ambiental (IAP, 2017).

Foi através da Portaria nº 19 de 2017 que o IAP normatizou os procedimentos para o licenciamento ambiental em empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte solar fotovoltaica em superfície terrestre, tendo levado em consideração as Resoluções do CONAMA e Leis Complementares da União e Estadual (IAP, 2017).

Insta salientar que os aspectos observados foram além de quantitativo sobre potência de geração. Em seu artigo 4º, foi dado ênfase ao impacto ambiental dos empreendimentos de geração solar, considerando o porte, a localização e baixo potencial poluidor da atividade (IAP, 2017).

A portaria também traz ao centro da questão a sustentabilidade ambiental, fazendo-se observar elementos como supressão de vegetação, unidades de preservação ambiental e áreas de ocorrência de espécies ameaçadas de extinção, levando a necessidade de estudos ambientais em alguns casos para a concessão da liberação de licença ambiental (IAP, 2017).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 METODOLOGIA DA PESQUISA

Para o desenvolvimento deste projeto de pesquisa, foram implementadas algumas estratégias de investigação como a coleta de informações, o levantamento de material bibliográfico e técnico, além de observação do sistema em questão.

Foram realizadas uma pesquisa em campo do tipo exploratória, de modo a observar sistematicamente e compreender as situações existentes, e uma pesquisa bibliográfica qualitativa, a fim de corroborar toda a teoria envolvida na temática (GIL, 2010). O processo de pesquisa foi flexível e apresentou uma análise dos dados, proporcionando compreensão acerca do problema analisado (MALHOTRA, 2005).

Foram consultados livros acadêmicos específicos da área estudada e também periódicos. A seleção das leituras foi feita de maneira analítica. Também foram consultadas a RN nº 482 da ANEEL e suas atualizações a respeito da GD. Foi realizada uma imersão a respeito dos itens homologatórios do projeto elétrico através da Norma Técnica Copel (NTC) nº 905200 da concessionária local (COPEL, 2018). Também foram observados os elementos estruturais e ambientais do sistema.

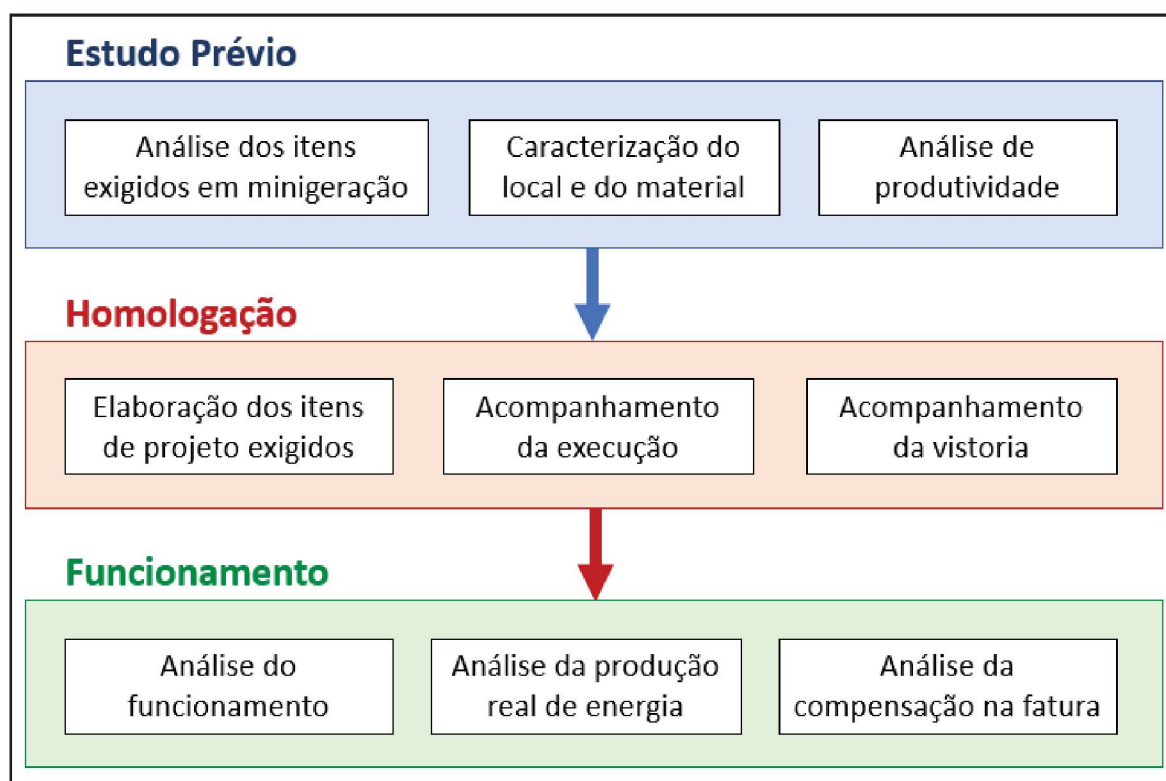
A análise deste projeto foi possível através de parceria com a empresa de engenharia que efetivou o sistema. Foram coletadas informações do funcionamento do sistema a partir do servidor *Fronius Solar Web*, e de faturamento a partir do sistema AVA da Copel. Também foram utilizados dispositivos como multímetro, alicate amperímetro e termômetro digital à laser para averiguação das características de funcionamento.

#### 3.2 ORGANIZAÇÃO EM ETAPAS DA PESQUISA EXPLORATÓRIA

Com o intuito de alcançar os objetivos deste trabalho, foram seguidas as etapas de observação indicadas na Figura 23.



FIGURA 23 - FLUXOGRAMA LÓGICO DAS ETAPAS DE OBSERVAÇÃO



FONTE: O AUTOR (2020).

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE CONSUMIDORA

O sistema gerador foi instalado junto à unidade consumidora de propriedade da empresa E. F. ARANTES E CIA LTDA, mostrada na Figura 24. O laticínio está localizado no Km 1 da Rodovia PR 239, na zona rural da cidade de Nova Cantu, na mesorregião Centro Ocidental Paranaense, a uma altitude média de 469 metros acima do nível do mar, com latitude de 24°40'20,8" S e longitude de 52°34'45,8" O.

Os equipamentos existentes na empresa são compostos por *chiller* de refrigeração de tonéis de leite, câmara fria para os produtos, bombas para movimentação de leite, soro e água, aquecimento controlado para pasteurização, dispositivos de mistura e movimentação para produção de queijos, dispositivos de limpeza, tratamento de água e de resíduos, esteiras para movimentação de produtos, sensoramento, dispositivos laboratoriais, ar condicionados, computadores e dispositivos eletrônicos.

Há duas caldeiras no estabelecimento, minimizando a conversão de energia elétrica em calor. Contudo, não houve autorização para contabilizar e expor detalhes sobre estes itens e produtividade relacionada.



FIGURA 24 - IMAGEM AÉREA DA INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS



FONTE: O AUTOR (2020).

A subestação do acessante, é um padrão de entrada maior e com a transformação por conta do proprietário. Neste caso, ela conta com um transformador de 300 kVA triângulo-estrela de conversão da rede de distribuição de 13,8 kV para 127/220 V. Ela é do tipo para medição indireta e possui disjuntor trifásico de 500 A.

A Figura 25 mostra o transformador fixado em poste do lado esquerdo e as caixas metálicas do padrão de entrada do lado direito, a fim de dispor os Transformadores de Corrente (TCs), o disjuntor geral e a medição indireta.

FIGURA 25 – ITENS DO PADRÃO DE ENTRADA DA UC: A) POSTE COM TRANSFORMADOR; B) TCS; C) DISJUNTOR TRIFÁSICO; D) MEDIÇÃO E TELEMEDIÇÃO; E) DPS

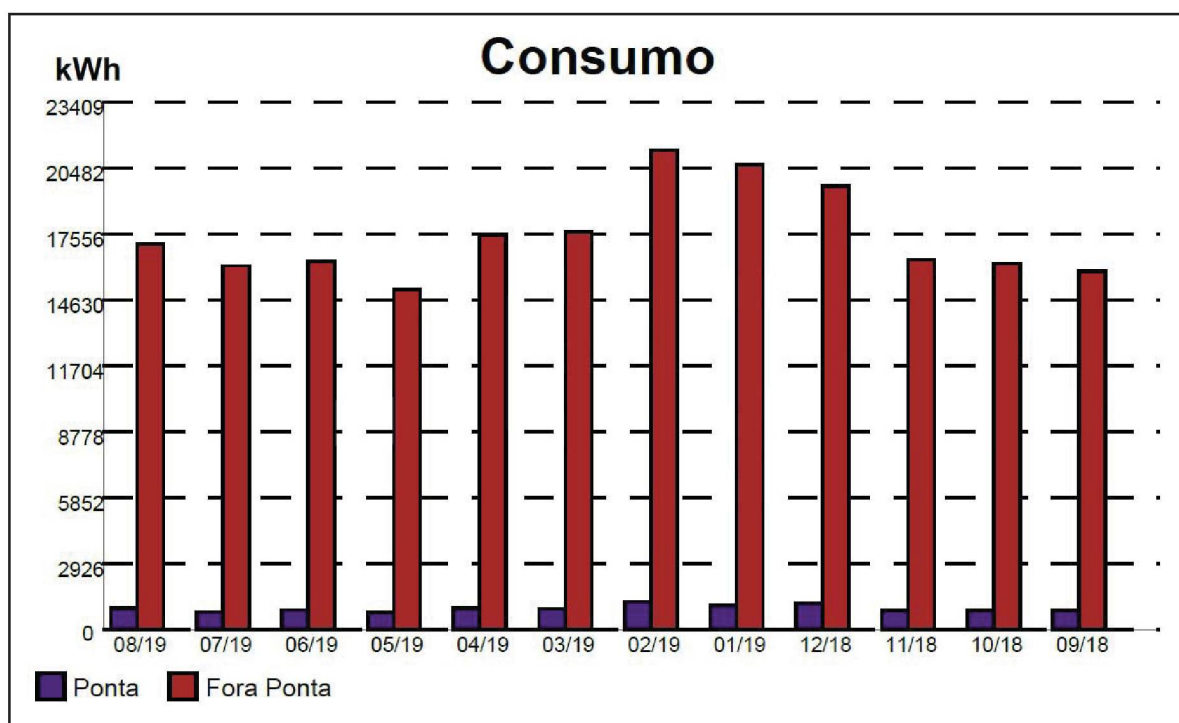


FONTE: O AUTOR (2020).

A concessionária de energia que atende esta unidade consumidora é a Companhia Paranaense de Energia (COPEL). Esta unidade consumidora pertence ao grupo A, devendo ter uma demanda contratada e seu consumo ser tarifado na modalidade horossazonal verde (COPEL, 2019). Sendo assim, seu consumo de energia é caracterizado como Ponta no horário das 18 às 21 horas, custando R\$1,97 por kWh, e como Fora Ponta nos demais horários, custando R\$0,52 por kWh, durante o ano de 2019.

A média de consumo do período de setembro de 2018 até agosto de 2019 de Ponta foi de 947 kWh e de Fora Ponta foi de 17.507 kWh, conforme dados do gráfico da Figura 26.

FIGURA 26 - CONSUMO ENERGÉTICO DE PONTA E DE FORA PONTA DO LATICÍNIO

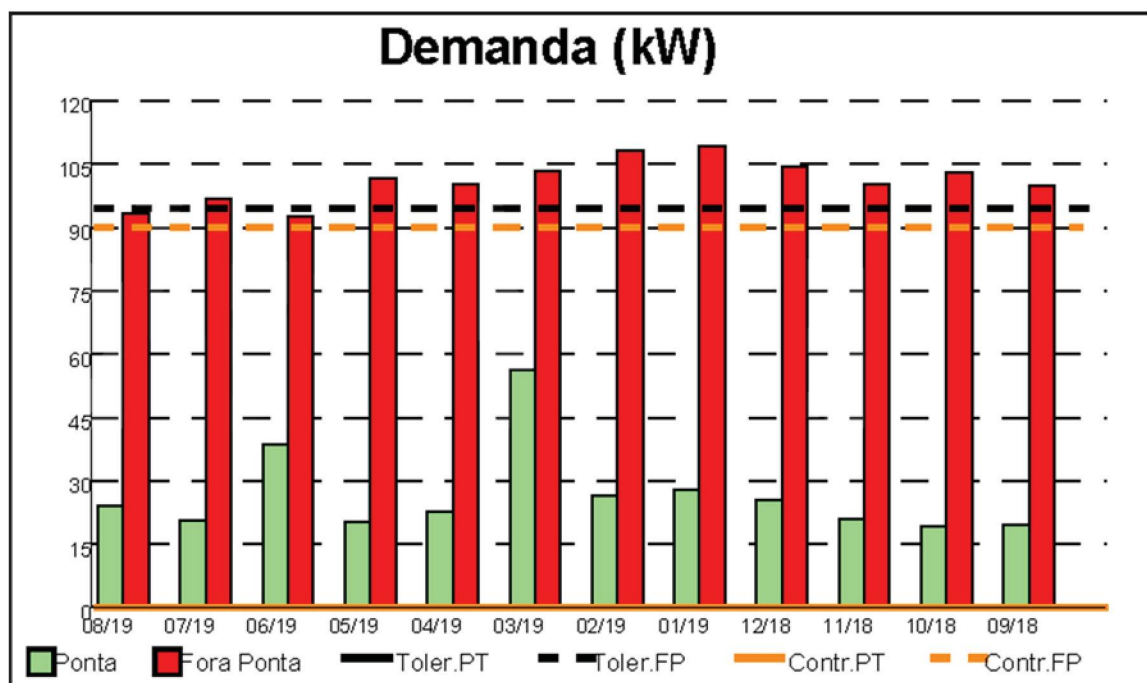


FONTE: COPEL (2019).

A Demanda Contratada atual era de 90 kW de potência. Conforme dados do gráfico da Figura 27, observou-se que na maioria dos meses ultrapassava-se esse valor, pagando-se uma penalidade do dobro do custo somente no valor ultrapassado. Sendo assim, um valor adequado de Demanda Contratada seria 100 kW, realizando-se uma alteração neste valor.

Neste sentido, a RN nº 482 diz que os sistemas de minigeração devem ter potência em corrente alternada igual ou menor que a demanda contratada da unidade consumidora.

FIGURA 27 - DEMANDA CONTRATADA E UTILIZADA DO LATICÍNIO



FONTE: COPEL (2019).

Assim, através de um estudo econômico simplificado e por opção do proprietário da indústria de laticínios, foram utilizados inversores num total de 100 kW de saída mantendo a Demanda Contratada também em 100kW, de modo a garantir uma maior compensação com a geração.

### 3.4 COMPOSIÇÃO DO SISTEMA GERADOR

O dimensionamento prévio deste projeto foi realizado através da análise da fatura de energia, analisando o consumo dos horários de ponta e fora ponta. Analisou-se a área de telhados disponíveis considerando, de maneira inicial, as condições estruturais e de sombreamento.

Foram utilizados 375 módulos da marca *Canadian Solar* (2016) de modelo *MAXPOWER CS6U-330P*, mostrado na Figura 28, com potência nominal de 330 Wp nas condições STC. Ele é do tipo policristalino com 72 células e conta com tecnologia de célula com 5 barras metálicas.



FIGURA 28 - MÓDULO FOTOVOLTAICO UTILIZADO



FONTE: CANADIAN SOLAR (2016).

Os dados elétricos dos módulos fotovoltaicos presentes na *datasheet* estão dispostos no Quadro 2. Além disso, o fabricante indica que este tipo de módulo somente trabalha em *strings* com tensão de até 1000 V.

QUADRO 2 - CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DO MÓDULO FOTOVOLTAICO

Característica do CANADIAN CS6U-330P	Dados
Potência nominal máx. ( $P_{mp}$ )	330 W
Tensão operacional ( $V_{mp}$ )	37,2 V
Tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ )	45,6 V
Corrente operacional ( $I_{mp}$ )	8,88 A
Corrente de curto circuito ( $I_{sc}$ )	9,45 A
Eficiência do módulo ( $\eta$ )	16,97 %
Tensão máxima do sistema	1.000 V
Coeficiente de temperatura de $I_{sc}$ ( $\alpha$ )	0,053 %/°C
Coeficiente de temperatura de $V_{oc}$ ( $\beta$ )	-0,31 %/°C
Coeficiente de temperatura de $P_{mp}$ ( $\gamma$ )	-0,41 %/°C

FONTE: CANADIAN SOLAR (2016).



O sistema possui 123,75 kWp de potência em CC com 100kW em CA de inversores. Este era um tamanho compatível com os telhados existentes, de modo a evitar sombreamentos óbvios, e possuía um bom custo-benefício disponível no mercado. Além disso, este sistema era compatível com a demanda contratada existente de 100 kW e com o investimento que o proprietário pretendia fazer por momento.

Também conta com 4 inversores com 25 kW do modelo *Eco 25.0-3-S* da marca *Fronius* (2015), mostrado na Figura 29, somando um total de 100 kW de potência de saída CA. Cada um dos inversores possui entrada CC de 1 *MPPT* com 6 *strings* e saída CA trifásica em 380 Volts fase-fase e frequência 60 Hz na configuração Brasil, atendendo também as demais normas de funcionamento exigidas. Foram utilizados autotransformadores a fim de compatibilizar a tensão do inversor com a rede paranaense de 220 Volts fase-fase.

FIGURA 29 - INVERSOR FOTOVOLTAICO UTILIZADO



FONTE: FRONIUS (2015).

Estes equipamentos que foram utilizados no projeto são inversores de *strings*. Atualmente, eles possuem grande participação de mercado e são recomendados para plantas de até 5 MW. Além disso, eles permitem a utilização de mais de um *MPPT* na

planta, são mais fáceis de substituir e possuem um menor custo comparando-se com as demais tecnologias (FRAUNHOFER ISE, 2019).

O Quadro 3 mostra os valores de potência, tensão e corrente presentes na *datasheet* do inversor *Fronius ECO 25.0-3-S*.

QUADRO 3 - CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DO INVERSOR

Característica do FRONIUS ECO 25.0-3-S	Dados
Tensão mínima de entrada	580 V
Tensão máxima operacional de entrada	850 V
Tensão máxima de entrada	1.000 V
Corrente máxima operacional	44,2 A
Corrente máxima em curto-circuito	66,3 A
Número de MPPTs / Número de Entradas	1 / 6
Potência nominal de saída	25 kW
Corrente máxima de saída	36,1 A
Tensão de conexão à rede (Brasil)	3-NPE 380/220 V
Frequência de conexão à rede (Brasil)	60 Hz

FONTE: FRONIUS (2015).

De acordo com as configurações recomendadas pela fabricante dos inversores Fronius para *oversizing*, o projeto foi dimensionado utilizando-se de um sobredimensionamento dos inversores. Neste sentido, a potência de pico CC nas condições STC do conjunto de módulos fotovoltaicos foi superior à potência nominal de saída CA dos inversores.

Sendo assim, foi necessário conferir os parâmetros de tensão e corrente fornecidos pelas *strings* fotovoltaicas a fim de que sejam compatíveis com os parâmetros suportados pelos inversores.

Além destes itens principais, o sistema gerador contou com proteções elétricas, transformadores, cabeamentos, peças de fixação em alumínio, elementos de aterramento e demais materiais elétricos para a correta montagem, conexão e adequação do sistema à rede.

### 3.5 CÁLCULO DO EFEITO DA TEMPERATURA SOBRE OS MÓDULOS

Os parâmetros de potência, tensão e corrente disponíveis nas *datasheets* dos módulos são baseados nas condições STC, com base na temperatura padronizada de 25°C. Entretanto, os módulos fotovoltaicos de silício cristalino apresentam uma variação dos parâmetros elétricos de acordo com a temperatura das células que compõem o módulo. Essa mudança de temperatura nas células geralmente é devida à incidência de radiação solar, às variações de temperatura do ar e à incidência de vento.

Sendo assim, a tensão diminui com o aumento da temperatura e a corrente elétrica possui o efeito reverso, aumentando com a elevação da temperatura. Além disso, este efeito causado sobre a tensão elétrica é muito mais significativo do que o efeito causado sobre a corrente elétrica. A Equação 12 permite calcular a tensão de circuito aberto (PINHO e GALDINO, 2014).

$$V_{oc}(T_c) = V_{oc,STC} \cdot \left( 1 + \frac{\beta}{100} \cdot (T_c - 25) \right) \quad (12)$$

Onde:

- $V_{oc}(T_c) \rightarrow$  Tensão de circuito aberto de acordo com a temperatura da célula fotovoltaica (V);
- $V_{oc,STC} \rightarrow$  Tensão de circuito aberto nas condições STC (V), pode ser encontrada na *datasheet* dos módulos fotovoltaicos;
- $\beta \rightarrow$  Coeficiente de variação da tensão de circuito aberto nas condições STC (%), pode ser encontrada na *datasheet* dos módulos fotovoltaicos;
- $T_c \rightarrow$  Temperatura da célula fotovoltaica (°C);

Neste sentido, é possível calcular a corrente elétrica de curto circuito de acordo com a temperatura através da Equação 13 (PINHO e GALDINO, 2014).

$$I_{sc}(T_c) = I_{sc,STC} \cdot \left( 1 + \frac{\alpha}{100} \cdot (T_c - 25) \right) \quad (13)$$

Onde:

- $I_{sc}(T_c) \rightarrow$  Corrente de curto circuito de acordo com a temperatura da célula fotovoltaica (A);
- $I_{sc,STC} \rightarrow$  Corrente de curto circuito nas condições STC (A), pode ser encontrada na *datasheet* dos módulos fotovoltaicos;
- $\alpha \rightarrow$  Coeficiente de variação da corrente de curto circuito nas condições STC (%), pode ser encontrada na *datasheet* dos módulos fotovoltaicos;
- $T_c \rightarrow$  Temperatura real da célula fotovoltaica (°C);

Para obter as variações de corrente e tensão do ponto de máxima potência de acordo com a temperatura, pode-se apenas substituir o coeficiente das Equações 14 e 15. Para isso, o coeficiente de temperatura para a corrente de curto circuito ( $\alpha$ ) é idêntico ao coeficiente de temperatura para a corrente em máxima potência ( $\alpha_{mp}$ ) (PINHO e GALDINO, 2014).

Já o coeficiente de temperatura para a tensão em máxima potência ( $\beta_{mp}$ ) pode ser aproximado ao valor do coeficiente de temperatura para potência ( $\gamma$ ) (PINHO e GALDINO, 2014). Assim, pode-se fazer as substituições como se segue:

$$\beta_{mp} = \gamma \quad (14)$$

$$\alpha_{mp} = \alpha \quad (15)$$

Assim, a conferência do efeito da temperatura sobre os parâmetros de tensão e corrente nos módulos é utilizado no dimensionamento elétrico do sistema fotovoltaico a fim de garantir uma conferência mais precisa e um correto funcionamento.

### 3.6 TEMPERATURAS CONSIDERADAS NA ANÁLISE

A cidade de Nova Cantu possui temperatura mínima típica de 0° C no inverno e de temperatura máxima típica de 36°C no verão (ACCUWEATHER, 2019). Para uma conferência simplificada, considera-se o pior caso com velocidade de vento igual a 0



m/s<sup>2</sup>. Deste modo, o equacionamento de Lasnier e Ang para a temperatura da célula fotovoltaica traz uma boa estimativa com baixo erro (YANG *et al.*, 2018).

Sendo assim, para se encontrar a temperatura da célula fotovoltaica ( $T_c$ ) a partir da temperatura ambiente ( $T_a$ ), utiliza-se a uma equação empírica (Equação 16), onde  $G$  é irradiância total em W/m<sup>2</sup> (LASNIER e ANG, 1990).

$$T_c = 30,006 + 0,0175 \cdot (G - 300) + 1,14 \cdot (T_a - 25) \quad (16)$$

A partir da máxima temperatura ambiente de 36° C e considerando a maior irradiância total de 1000 W/m<sup>2</sup> para um dia de verão, encontrou-se a temperatura máxima da célula de aproximadamente 55° C.

A partir da mínima temperatura ambiente de 0° C e considerando uma alta irradiância total de 800 W/m<sup>2</sup> para um dia de inverno, encontrou-se a temperatura mínima da célula de aproximadamente 10° C.

Estas temperaturas são os limites extremos e são utilizadas para dimensionar corretamente o sistema fotovoltaico, evitando problemas de sobretensão e perda de eficiência durante a produção.

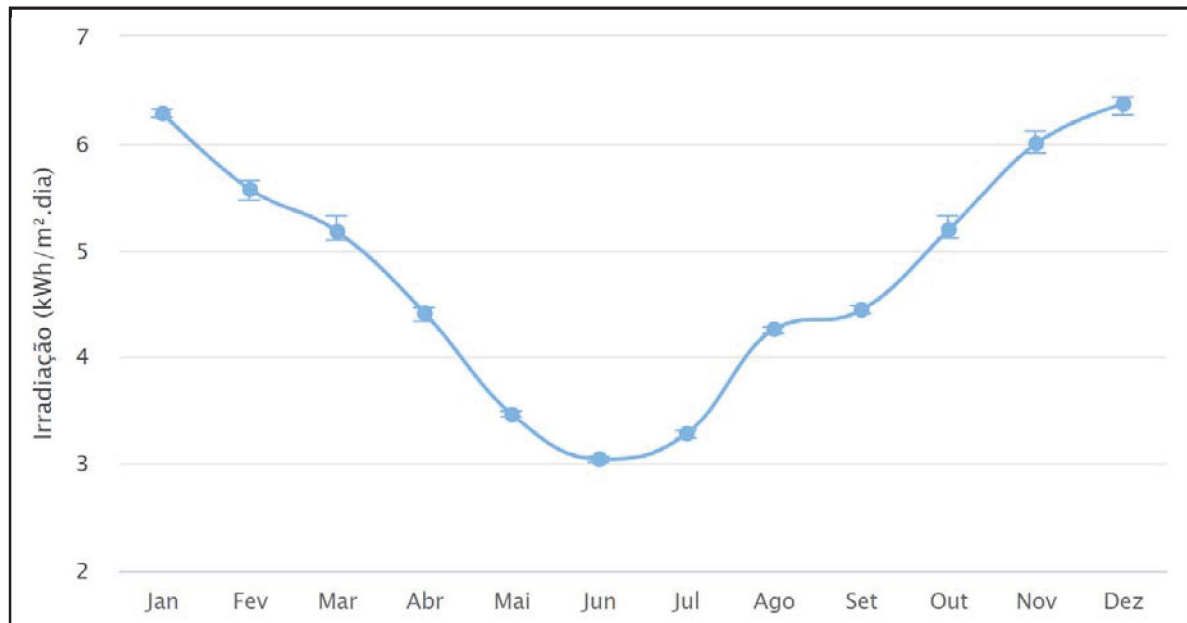
### 3.7 CÁLCULO DA PRODUÇÃO ENERGÉTICA

Cada cidade possui valores diferentes de irradiação e, consequentemente de produtividade para cada mês do ano. O Atlas Solar Paraná possui um banco de dados atualizado que mostra o gráfico de produtividade para cada cidade deste estado, o qual pode ser útil para encontrar uma estimativa precisa da geração do sistema.

Cada orientação e cada inclinação dos arranjos fotovoltaicos geram produtividades (Prod) diferentes em cada região, variando com a latitude e demais condições climáticas, devendo-se calcular a efetiva geração de energia quando a orientação e inclinação são diferentes da posição ótima de produção (PORTAL ENERGIA, 2019).

Neste sentido, os dados de irradiação da cidade de Nova Cantu foram coletados do banco de dados do Atlas Solar Paraná e estão disponíveis em forma de gráfico na Figura 30.

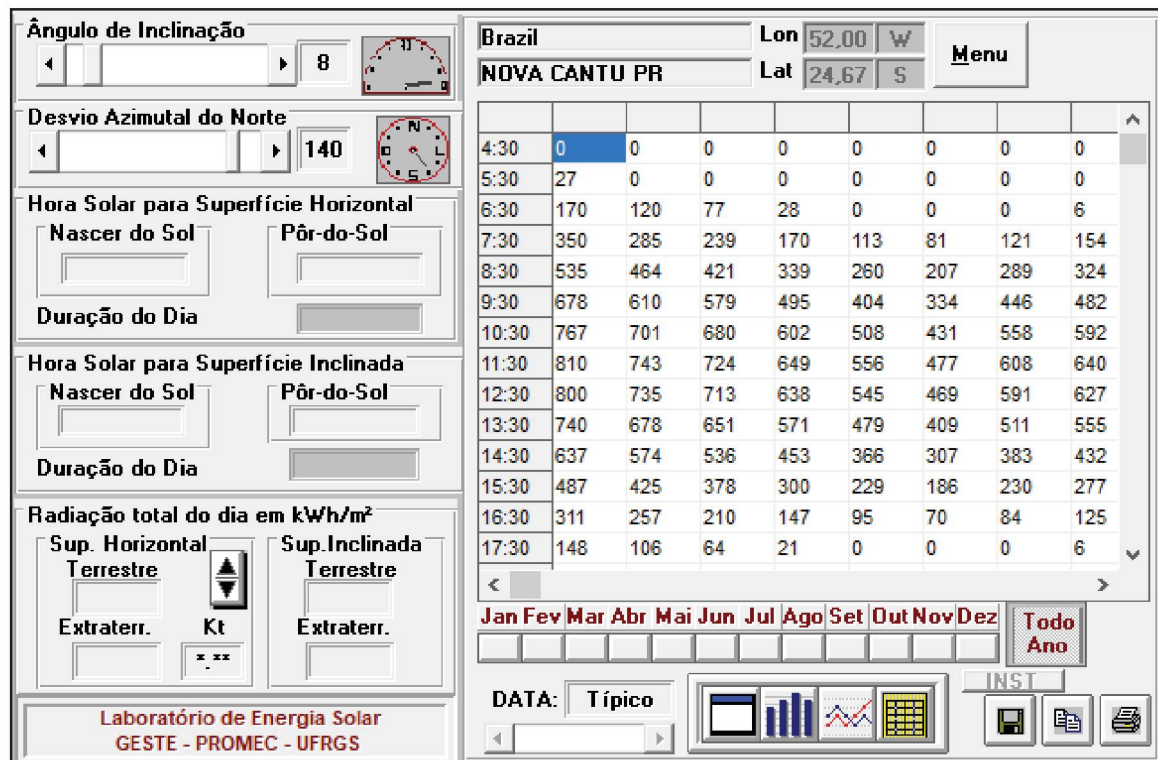
FIGURA 30: MÉDIAS DE IRRADIAÇÃO GLOBAL HORIZONTAL EM NOVA CANTU, PR.



FONTE: TIEPOLO ET AL. (2017).

Estes dados foram processados no *software Radiasol*, mostrado na Figura 31, a fim de se obter o fator de proporção de geração ( $f_{prop}$ ) de acordo com a orientação e inclinação do arranjo fotovoltaico.

FIGURA 31: SOFTWARE RADIASOL.



FONTE: UFRGS (2018).

Primeiramente testou-se o programa com as orientações e inclinações básicas, a fim de analisar se os valores resultantes estão de acordo. Estes valores testados estão dispostos no Quadro 4. Na sequência, as orientações e inclinações do projeto foram inseridas e os valores reais foram coletados.

QUADRO 4 – EXEMPLOS DE FATORES DE PROPORÇÃO DE GERAÇÃO CONFORME A ORIENTAÇÃO E INCLINAÇÃO PARA A CIDADE DE NOVA CANTU

		Orientação							
		S	SO	O	NO	N	NE	E	SE
Inclinação	0°	91,5%	91,5%	91,5%	91,5%	91,5%	91,5%	91,5%	91,5%
	5°	92,6%	93,3%	94,9%	96,5%	97,2%	96,5%	94,9%	93,3%
	10°	89,6%	91,0%	94,3%	97,4%	98,7%	97,4%	94,3%	91,0%
	15°	86,3%	88,5%	93,3%	97,8%	99,6%	97,8%	93,3%	88,5%
	20°	82,5%	85,5%	91,9%	97,7%	100,0%	97,7%	91,9%	85,5%

FONTE: O AUTOR (2020).

NOTA: DADOS DE IRRADIAÇÃO DO ATLAS SOLAR PARANÁ (TIEPOLO *ET AL.*, 2017) PROCESSADOS PELO SOFTWARE RADIASOL (UFRGS, 2018).

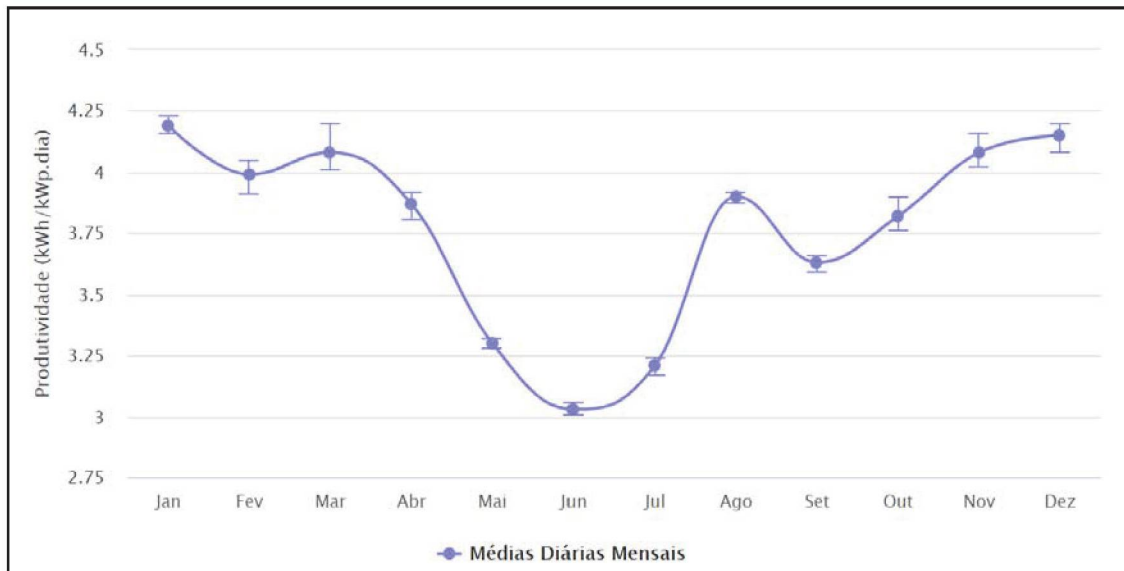
Sabe-se que o valor máximo de produtividade (Prod) na localidade do objeto em estudo é com os módulos fotovoltaicos orientados à Norte, com inclinação igual à latitude de 24°. Sendo assim, observou-se que a produtividade diminui conforme se afasta desta posição.

Além disso, os módulos com inclinação próxima da horizontal possuem boa produtividade (Prod) no verão, mas acumulam muito mais poeira e recebem menos irradiação durante o inverno. Já os módulos voltados mais ao sul, perdem produtividade (Prod) significativamente em inclinações com mais de 10°.

Assim, a análise foi feita através dos dados de produtividade (Prod) coletados do Atlas Solar Paraná, ilustrados na Figura 32, variando somente com o fator de proporção da geração ( $f_{prop}$ ) de acordo com a orientação e inclinação do plano do painel fotovoltaico (TIEPOLO *et al.*, 2017).



FIGURA 32 - PRODUTIVIDADE FOTOVOLTAICA MENSAL PARA A CIDADE DE NOVA CANTU - PR



FONTE: TIEPOLO *ET AL.* (2017).

Então, com base na potência nominal fotovoltaica instalada ( $P_{fv}$ ) em cada inversor, foi aplicada a Equação 17 e obteve-se o total gerado mensalmente ( $E_{FV,mês}$ ) (TIEPOLO *et al.*, 2017). A partir disso, realizou-se uma simulação da produtividade do sistema gerador.

$$E_{FV,mês} = \frac{d_m \cdot P_{fv} \cdot Prod \cdot f_{prop}}{100} \quad (17)$$

Onde:

- $E_{FV,mês}$  → Energia produzida pelo sistema no mês (kWh/mês);
- $P_{fv}$  → Potência nominal fotovoltaica instalada (kWp), característica de cada célula fotovoltaica;
- $Prod$  → Produtividade fotovoltaica diária (kWh/kWp.dia);
- $d_m$  → Quantidade de dias no mês analisado (dia);
- $f_{prop}$  → Fator de proporção da geração de acordo com o plano de instalação do painel fotovoltaico (%).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 DIMENSIONAMENTO ELÉTRICO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

#### 4.1.1 Strings Fotovoltaicas e Inversores

A partir das características de temperatura deste módulo fotovoltaico e das Equações 14 e 15, os parâmetros de variação de corrente e tensão com a temperatura foram calculados e são mostrados no Quadro 5.

QUADRO 5 - COEFICIENTES DE VARIAÇÃO DE CORRENTE E TENSÃO NAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS DE ACORDO COM A TEMPERATURA

Coeficiente de Corrente	Coeficiente de Tensão
$\alpha_{sc} = 0,053 \%$	$B_{oc} = -0,31 \%$
$\alpha_{mp} = 0,053 \%$	$\beta_{mp} = -0,41 \%$

FONTE: O AUTOR (2020).

Com os dados elétricos dos módulos fotovoltaicos do Quadro 2 e seguindo as Equações 8, 9, 10 e 11, encontrou-se os valores de tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ), tensão de máxima potência ( $V_{mp}$ ), corrente de curto circuito ( $I_{sc}$ ) e corrente de máxima potência ( $I_{mp}$ ) para cada arranjo fotovoltaico.

Na sequência, calculou-se a variação destes valores com base na influência da temperatura sobre estes arranjos utilizando as Equações 12 e 13 com os coeficientes do Quadro 5. Os resultados de tensão foram dispostos no Quadro 6 e os de correntes dispostos no Quadro 7.

Observou-se que para a temperatura de  $10^\circ \text{C}$ , os valores de tensão são maiores e que para a temperatura de  $55^\circ \text{C}$ , os valores de tensão são menores que os valores indicados nas condições STC. Assim, os valores de todas as *strings* devem estar contidos dentro destes limites para que o sistema fotovoltaico funcione corretamente.

QUADRO 6 - TENSÃO DE CIRCUITO ABERTO E TENSÃO DE MÁXIMA POTÊNCIA DE CADA ARRANJO FOTOVOLTAICO E SUA VARIAÇÃO COM INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA

Arranjo	<i>Strings</i> (Total)	$V_{oc}$	$V_{oc,10^{\circ}C}$	$V_{mp}$	$V_{mp,10^{\circ}C}$	$V_{mp,55^{\circ}C}$
A	5x18 (90)	820,8V	859,0V	669,6V	710,8V	587,2V
B	5x20 (100)	912,0V	954,4V	744,0V	789,8V	652,5V
C	5x19 (95)	866,4V	906,7V	706,8V	750,3V	619,9V
D	5x18 (90)	820,8V	859,0V	669,6V	710,8V	587,2V

FONTE: O AUTOR (2020).

QUADRO 7 - CORRENTE DE CURTO CIRCUITO DE CADA ARRANJO FOTOVOLTAICO E SUA VARIAÇÃO COM INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA

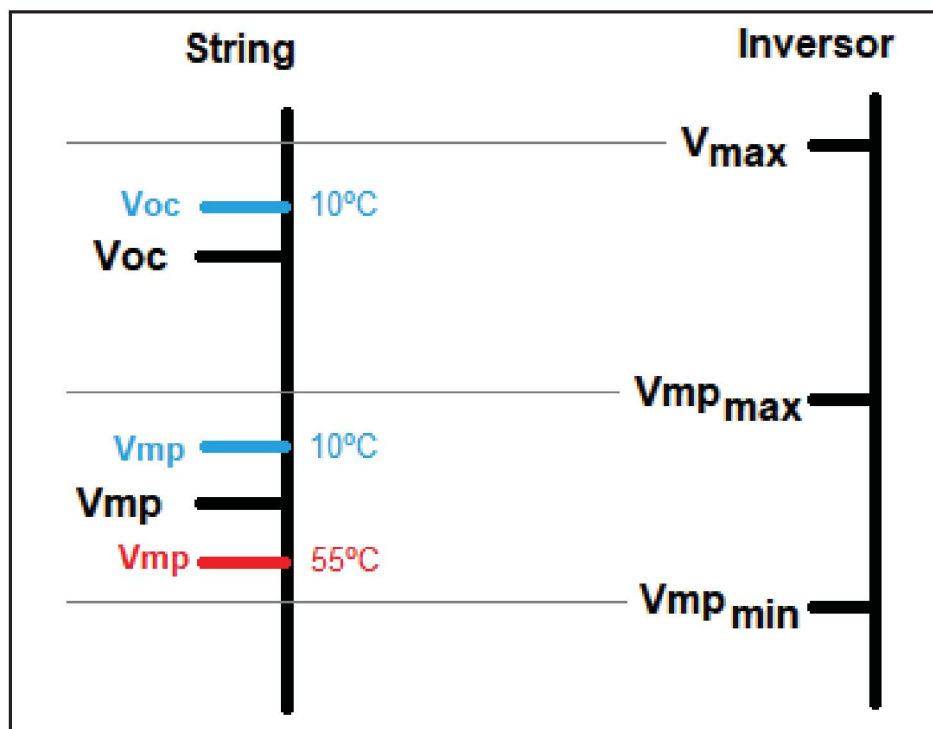
Arranjo	<i>Strings</i> (Total)	$I_{sc}$	$I_{sc,55^{\circ}C}$	$I_{mp}$	$I_{mp,55^{\circ}C}$
A	5x18 (90)	47,25 A	48,0 A	44,4 A	45,1 A
B	5x20 (100)	47,25 A	48,0 A	44,4 A	45,1 A
C	5x19 (95)	47,25 A	48,0 A	44,4 A	45,1 A
D	5x18 (90)	47,25 A	48,0 A	44,4 A	45,1 A

FONTE: O AUTOR (2020).

Assim, o próximo passo foi conferir estes dados com os parâmetros limites do inversor utilizado. A Figura 33 ilustra os parâmetros de tensão das *strings* comparados com os parâmetros limítrofes do inversor.



FIGURA 33 - INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NAS TENSÕES E COMPARAÇÃO COM OS PARÂMETROS LIMITES DO INVERSOR



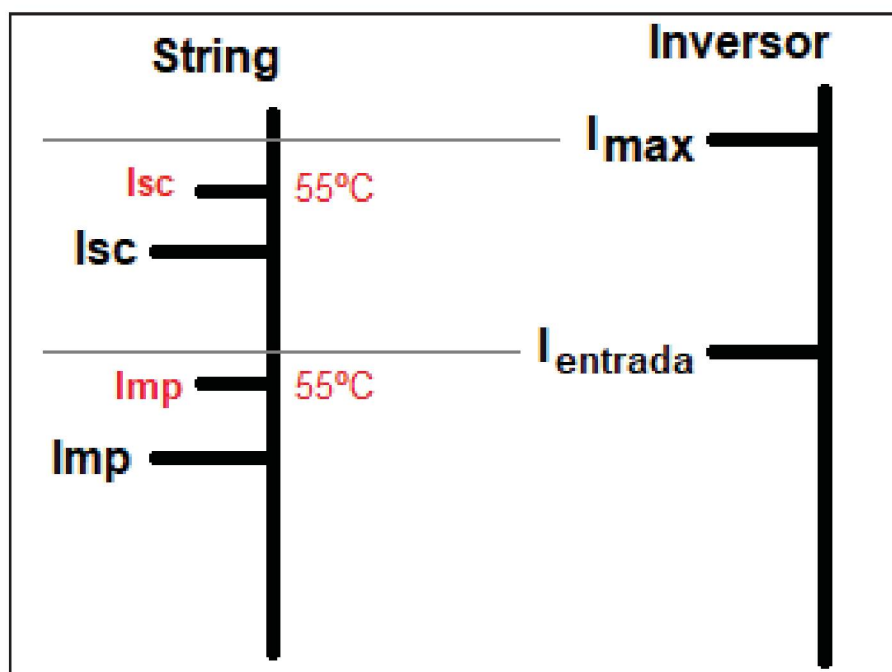
FONTE: O AUTOR (2020).

O primeiro parâmetro conferido foi a tensão de circuito aberto, a qual pode causar danos ao inversor e aos módulos caso exceda o limite. Conforme os dados do Quadro 6, as tensões de circuito aberto na temperatura de 10° C dos arranjos foram 820,8 V, 912,0 V, 866,4 V e 820,8 V, todas abaixo do limite de 1000 V de máxima tensão de entrada do inversor e de máxima tensão de operação dos módulos, contidos no Quadro 3.

Em seguida, conferiu-se a tensão de máxima potência, a qual pode resultar em perdas de produção por operar fora dos limites de funcionamento do inversor. Conforme os dados do Quadro 6, as tensões de máxima potência na temperatura de 10° C foram 710,8 V, 789,8 V, 750,3 V e 710,8 V, já na temperatura de 55° C foram 587,2 V, 652,5 V, 619,9 V e 587,2 V, todas dentro do intervalo de tensão de funcionamento do inversor de 580 V a 850 V, conforme apresentados no Quadro 3.

Neste sentido, a Figura 33 ilustra os parâmetros de corrente dos arranjos comparados com os parâmetros limítrofes do inversor. Observou-se que os limites são superiores e, portanto, não faria sentido calcular as correntes para a temperatura de 10° C, pois resultariam em valores menores.

FIGURA 34 - INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NAS CORRENTES E COMPARAÇÃO COM OS PARÂMETROS LIMITES DO INVERSOR



FONTE: O AUTOR (2020).

Assim, conferiu-se a corrente de curto circuito, a qual pode causar danos ao inversor caso exceda o limite. Conforme o Quadro 7, as correntes de curto circuito na temperatura de 55° C foram iguais a 48,0 A, todas abaixo do limite de máxima corrente de curto circuito do inversor de 66,3 A contido no Quadro 3.

Conferiu-se também a corrente de máxima potência. Conforme o Quadro 7, as correntes de máxima potência na temperatura de 55 °C foram iguais a 45,1 A, todas um pouco acima do limite de máxima corrente de entrada do inversor de 44,2 A contido no Quadro 3. Esta situação indica que haverá *clipping*, um corte na potência de entrada do inversor, ocasionando perdas de geração já previstas devido ao uso de *overload*.

Neste sentido, a fabricante do inversor disponibiliza uma aplicação que faz estes e alguns outros cálculos prévios, a fim de facilitar a conferência de compatibilidade do sistema projetado. Nele, foi possível escolher dentre vários módulos fotovoltaicos comerciais utilizando os inversores da marca Fronius. Além disso, foi possível configurar as temperaturas do módulo conforme as condições locais do sistema. Os parâmetros e resultados são mostrados na Figura 35.

FIGURA 35 - DIMENSIONAMENTO DO FRONIUS SOLAR CONFIGURATOR 4.0

**FRONIUS SOLAR.CONFIGURATOR 4.0**

## MÓDULO FOTOVOLTAICO

## INVERSOR

Fabricante de módulos fotovoltaicos

Canadian Solar Inc.

País

Brasil

Modelo

CS6U-330P Potência máxima (1000V)

Series

Todos os inversores

Número de módulos fotovoltaicos (# 1 e # 2 e # 3) 0 W

0 0 0

Tipo

ECO 25.0-3-S

Temperatura do módulo (mín. - máx. / ° C)

10 55

Relação do inversor (mín. - máx. /%)

105 130

Opções de dimensionamento

90	95	100
29,70 kWp IR = 117%	31,35 kWp RI = 123%	33,00 kWp IR = 130%
PV1: 5 x 18	PV1: 5 x 19	PV1: 5 x 20
>→	>→	>→

FONTE: FRONIUS (2019b).

Observa-se que os quatro arranjos foram corretamente dimensionados e conferidos pois suas proporções de módulos e *strings* estão listadas nos resultados da aplicação do fabricante.

#### 4.1.2 Conexão e Proteção

Para conexão das *strings* fotovoltaicas no inversor, foram utilizados cabos e conectores MC4, ambos específicos para energia solar, mostrados na Figura 36. Estes são cabos flexíveis de cobre com isolamento dupla para 1,8kV e com proteção UV. Foi escolhida a seção de 4mm<sup>2</sup> levando em conta a NBR 5410 (ABNT, 2004) e também as especificações do fabricante do módulo. O Memorial Descritivo contido no Apêndice 4 expõe os cálculos da seção do cabo CC envolvendo queda de tensão.

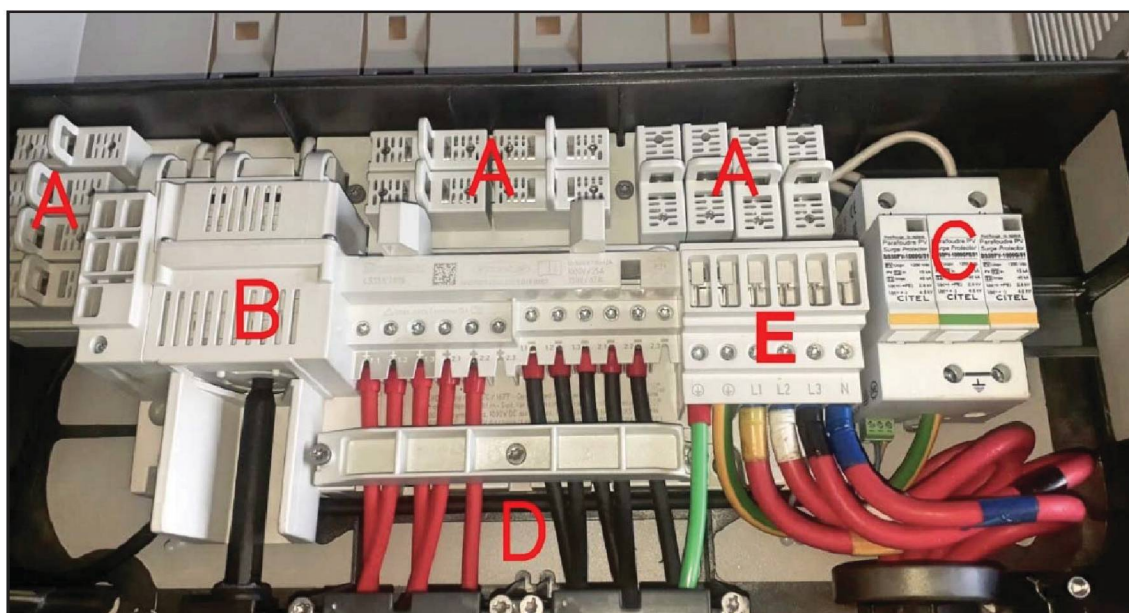
FIGURA 36 – CONECTORES MC4 PARA ENERGIA SOLAR



FONTE: O AUTOR (2020).

O inversor conta com fusíveis de corrente nominal de 15 A nos condutores positivo e negativo de cada *string*, mostrados na Figura 37. Estes são apropriados para as strings utilizadas nos arranjos, com corrente máxima de 9,45 A cada.

FIGURA 37 – PARTE INTERNA DO INVERSOR: A) FUSÍVEIS; B) CHAVE SECCIONADORA; C) DPS CC; D) BORNES CC; E) BORNES CA



FONTE: O AUTOR (2020).

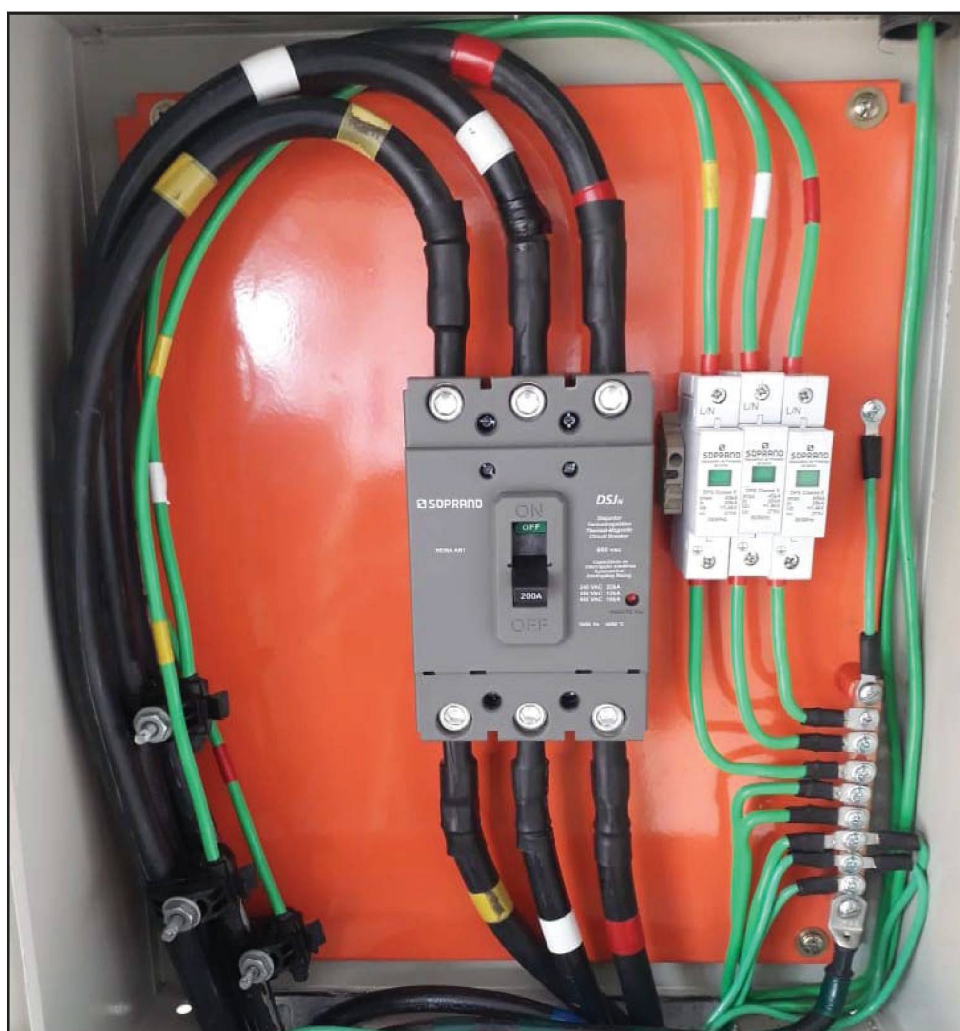
O inversor ainda contou com DPS de Classe II - CC modulares de fácil substituição para proteção CC do arranjo fotovoltaico, também uma chave seccionadora eletrônica integrada para desconexão das *strings* da entrada CC do



inversor, ambos mostrados na Figura 37. Assim, a fabricante afirma que não é necessário uso de *string box* para este tipo de inversor (FRONIUS, 2015).

A saída CA foi protegida com DPS e disjuntores trifásicos de 200 A, seccionando e protegendo os autotransformadores, os inversores e o cabeamento. Não houve necessidade de isolamento nos transformadores pois há DPS para proteção e, caso os inversores fossem 220 V fase-fase, eles seriam diretamente conectados à rede. Tanto o disjuntor quanto os DPS foram dispostos em um quadro elétrico, conforme mostrado na Figura 38.

FIGURA 38 – DISJUNTOR CA E DPS

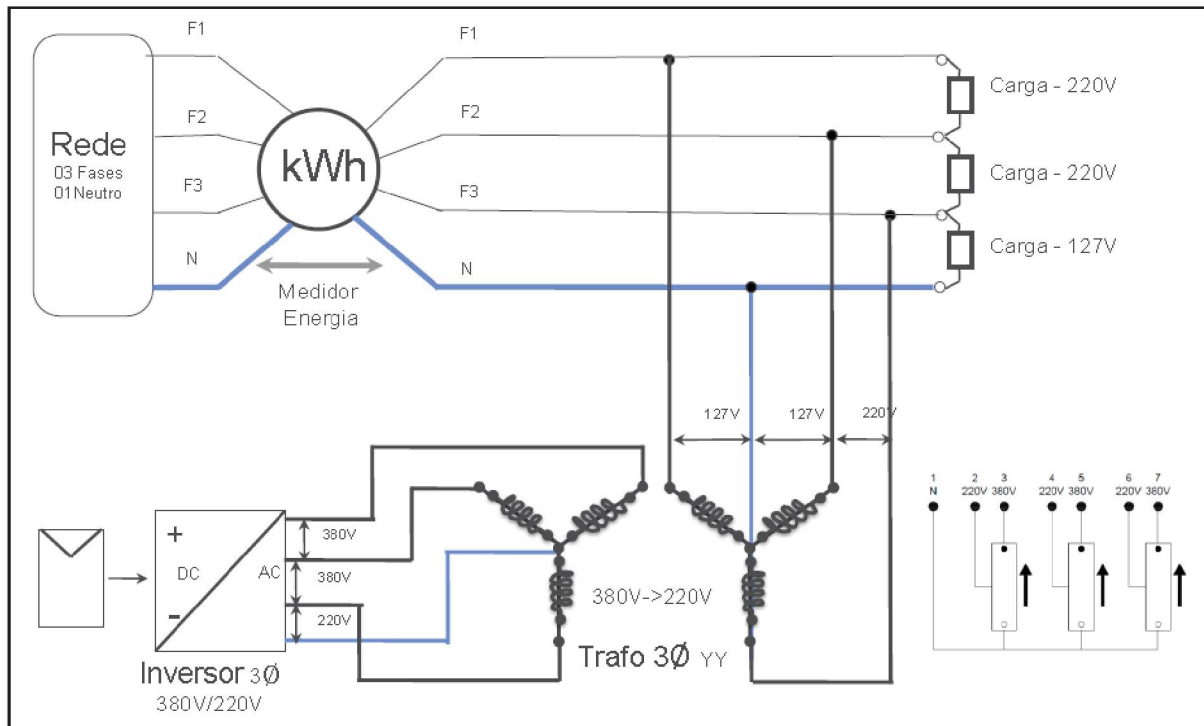


FONTE: O AUTOR (2020).

Para compatibilizar a saída dos inversores com a rede 220 V fase-fase, foram necessários transformadores de baixa tensão a fim de converter a tensão para 380 V

fase-fase. A Figura 39 é um diagrama da fabricante que exemplifica a conexão do inversor neste caso.

FIGURA 39 – DIAGRAMA DE CONEXÃO DE INVERSOR TRIFÁSICO EM REDE 220 V



FONTE: FRONIUS (2012).

Neste sentido, foram utilizados dois autotransformadores trifásicos de 380 V para 220 V de 75 kVA para cada dois inversores. Assim, manteve-se uma folga de 30% entre os transformadores e a soma dos inversores, a fim de que o sistema possa trabalhar continuamente próximo da potência máxima sem haver sobreaquecimentos ou sobretensões.

As conexões internas do autotransformador são mostradas na Figura 40, onde de um lado entram as fases dos inversores e do outro entram as fases da rede em 220 V, com os neutros interligados em um mesmo ponto. As conexões dentro do transformador foram feitas utilizando terminais de compressão nas pontas dos cabos a fim de fixar os cabos nos parafusos com porcas.

FIGURA 40 – PARTE INTERNA DO AUTOTRANSFORMADOR



FONTE: O AUTOR (2020).

Foram utilizados cabos de tensão máxima de 1kV para a saída CA do lado 220 V e do lado 380 V. As demais descrições dos itens e das conexões estão expostas no Memorial Descritivo e nos Diagramas dos Apêndices 4 e 5.

#### 4.1.3 Disposição do Equipamento

Muitos fatores influenciam na escolha do posicionamento dos equipamentos envolvidos no sistema fotovoltaico. A disposição dos módulos acabou sendo diferente da disposição prevista inicialmente, de acordo com o que se observou das estruturas externas e de fixação nas vigas metálicas.

Os módulos fotovoltaicos foram dispostos nos telhados existentes, reduzindo assim um pouco de sua produtividade em comparação com o posicionamento ideal. Contudo, não foi considerado reposicionar os módulos devido ao aumento no custo com ferragens, ao aumento de peso estrutural e ao possível sombreamento extra. O desenho dos arranjos fotovoltaicos sobre os telhados está exposto na Figura 41.



FIGURA 41 – DESENHO SIMPLIFICADO CONTENDO A DISPOSIÇÃO DOS MÓDULOS DE CADA ARRANJO FOTOVOLTAICO SOBRE OS TELHADOS



FONTE: O AUTOR (2020).

Foi analisado presencialmente o sombreamento óbvio através de observações e análises baseadas em experiência prévia. Sendo assim, não foram realizados cálculos de sombreamento em *softwares* devido à redução de custos e urgência na implementação do sistema fotovoltaico.

Foi contratada uma engenheira civil, a qual analisou o esforço da carga do peso das placas em cima dos telhados e fez um laudo, no qual recomendou a adição de sapatas de 25x40 cm nos pilares metálicos que não as possuía, objetivando a segurança do empreendimento.

Os arranjos A, C e D ficaram posicionados sob orientação de 320°, mais voltados ao Norte. Já o arranjo B ficou posicionado com 140° de azimuth, mais voltado ao Sul. Todos os arranjos ficaram com 8° de inclinação, o qual é um valor mínimo



recomendado para manter os módulos limpos pela ação da chuva. A Figura 42 mostra as orientações dos telhados existentes.

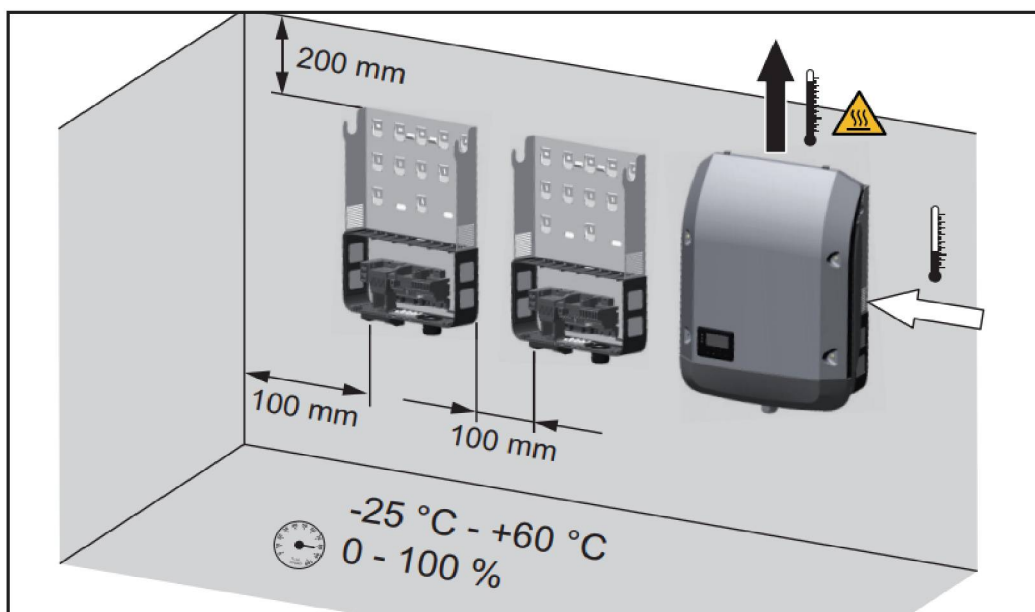
FIGURA 42 - ORIENTAÇÕES AZIMUTAIS DOS TELHADOS EXISTENTES



FONTE: O AUTOR (2020).

A fabricante recomenda que os inversores fiquem fixados em uma parede sólida e forte. Foi necessário dispor um espaçamento de pelo menos 10 cm entre cada inversor e de 20 cm do teto, conforme mostra a Figura 43, a fim de permitir uma melhor ventilação. Além disso, os inversores ficaram em um ambiente coberto e ventilado, conforme recomendado, mesmo possuindo proteção IP67 contra água e poeira.

FIGURA 43 – RECOMENDAÇÃO DO POSICIONAMENTO DOS INVERSORES



FONTE: FRONIUS (2012).

Os quadros de proteção CA foram alocados próximos aos inversores. A Figura 44 mostra a disposição final dos inversores juntos dos transformadores e quadros CA.

FIGURA 44 – DISPOSIÇÃO FINAL DOS INVERSORES E ITENS CA



FONTE: O AUTOR (2020).

O resultado final da disposição dos módulos é mostrado na Figura 45.

FIGURA 45 – DISPOSIÇÃO FINAL DOS ARRANJOS FOTOVOLTAICOS



FONTE: O AUTOR (2020).



#### 4.1.4 Produtividade do Sistema Gerador

Uma simulação foi realizada a partir do sistema proposto a fim de se estimar a produtividade de acordo com a disposição real dos módulos. Os arranjos possuem orientação de 140° e 320° de azimute e 8° de inclinação, os valores precisamente encontrados com o *software Radasol* foram de 91,8% para o telhado orientado mais ao sul e 97,3% para os telhados orientados mais ao norte.

Através da Equação 17 e dos dados de produtividade da cidade de Nova Cantu da Figura 32, a produção mensal de cada arranjo fotovoltaico foi encontrada e está exposta no Quadro 8.

QUADRO 8 – ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO ENERGÉTICA MENSAL DE CADA ARRANJO FOTOVOLTAICO E DO TOTAL

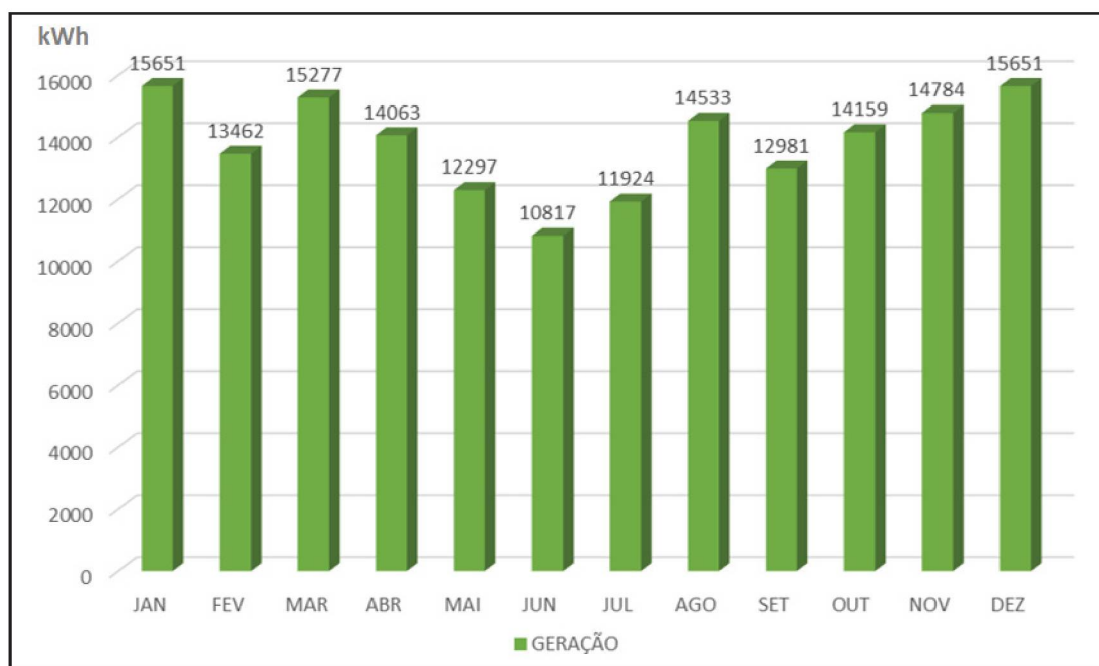
Mês	Produtividade Diária (kWh/kWp.dia)	Produção Arranjo A [31,35 kWp com 97,3%] (kWh)	Produção Arranjo B [33,0 kWp com 91,8%] (kWh)	Produção Arranjo C [31,35 kWp com 97,3%] (kWh)	Produção Arranjo D [29,7 kWp com 97,3%] (kWh)	Produção Total (kWh)
JAN	4,2	3.972	3.944	3.972	3.763	15.651
FEV	4,0	3.416	3.393	3.416	3.237	13.462
MAR	4,1	3.877	3.850	3.877	3.673	15.277
ABR	3,9	3.569	3.544	3.569	3.381	14.063
MAI	3,3	3.121	3.099	3.121	2.956	12.297
JUN	3,0	2.745	2.726	2.745	2.601	10.817
JUL	3,2	3.026	3.005	3.026	2.867	11.924
AGO	3,9	3.688	3.663	3.688	3.494	14.533
SET	3,6	3.294	3.272	3.294	3.121	12.981
OUT	3,8	3.593	3.569	3.593	3.404	14.159
NOV	4,1	3.752	3.726	3.752	3.554	14.784
DEZ	4,2	3.972	3.944	3.972	3.763	15.651
<b>SOMA ANUAL</b>		<b>42.025</b>	<b>41.736</b>	<b>42.025</b>	<b>39.813</b>	<b>165.599</b>

FONTE: O AUTOR (2020).



O gráfico da Figura 46 ilustra a produtividade mensal do sistema fotovoltaico, com base nos dados do Quadro 8.

FIGURA 46 – GRÁFICO DA ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO ENERGÉTICA MENSAL DO SISTEMA FOTOVOLTAICO



FONTE: O AUTOR (2020).

Sendo assim, encontrou-se uma produção total anual esperada de 165.599 kWh e uma média mensal de 13.800 kWh. Contudo, observa-se que é possível que existam variações nestes valores em decorrência dos tempos chuvosos e secos ocorrerem em épocas ligeiramente diferentes do ano.

## 4.2 PROCESSO DE HOMOLOGAÇÃO EM MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA

### 4.2.1 Solicitação de acesso

Para a elaboração deste item, foi utilizado o modelo de formulário de Solicitação de Acesso para Minigeração Distribuída, com potência de geração superior a 75 kW e inferior a 5 MW. Foram preenchidas as informações da UC e de suas características elétricas. Este documento é parte dos resultados deste trabalho e encontra-se exposto no Apêndice 1.

Neste documento foram inseridas informações como a potência do transformador e a corrente nominal do disjuntor, as quais limitam a potência total do

padrão de entrada. O tipo de ligação do transformador e sua impedância percentual foram encontradas no *datasheet* do fabricante. A corrente nominal do disjuntor foi localizada especificada em seu interruptor.

No caso deste projeto, a potência de geração considerada foi a potência total dos inversores de 100 kW. Conferiu-se que ela é menor do que a potência correspondente do disjuntor de 304 kW (3x800A) e do que a potência do transformador de 300 kW, considerando fator de potência igual a 1 característico de inversores fotovoltaicos. Além disso, conferiu-se que essa potência era menor ou igual a atual Demanda Contratada de 100 kW. Foi necessário destacar quais itens de projeto iriam anexos conforme estava na norma técnica, muitos deles não são necessários na Microgeração Distribuída.

#### 4.2.2 Anotação de Responsabilidade Técnica

A ART foi necessária para a efetivação deste sistema gerador por se tratar de um projeto elétrico de engenharia. Ela contém informações do contratante e do responsável técnico para projeto e execução do sistema. Este documento preenchido e assinado faz parte dos resultados deste trabalho e está exposto no Apêndice 2.

O tipo de obra inserido foi o de 'Geração de Energia', com base em 'Energias Alternativas (Solar/Eólica/etc)', com atividade técnica em 'Projeto', 'Execução', 'Serviços de Instalação' e 'Inspeções'. Além disso, na descrição da ART constam informações elétricas sobre o padrão de entrada e também um descritivo simples sobre a composição do sistema gerador.

Atualmente, a concessionária de energia local, a Copel, está exigindo que na ART conste a atividade de Execução e está conferindo em todas suas solicitações de projeto e vistoria. Isto foi notificado por meio de comunicado aos projetistas cadastrados e foi inserido na ART emitida. Fora esta questão, não há por parte da Copel ou das normativas uma explicação aprofundada a respeito da emissão da ART, não ficando explícito sobre como deve ser elaborada ou quais itens devem ser incluídos.

#### 4.2.3 Cronograma de Implantação e Expansão

O Cronograma de Implantação e Expansão foi um documento elaborado que contém as etapas de projeto e execução em ordem cronológica e com datas previstas de execução. Este documento também faz parte dos resultados deste trabalho e pode ser visualizado no Apêndice 3.

Este cronograma atualmente é um item somente exigido na modalidade de minigeração distribuída. Acredita-se que ele seja útil para que a concessionária de energia local possa se preparar para a vistoria, principalmente nos casos que envolvem adequações de sua rede.

O cronograma elaborado foi dividido em semanas e mostra atividades desde contratação inicial e estudo de campo, até envio do projeto no sistema e instalação dos equipamentos. Assim, foram inseridas algumas etapas consideradas importantes no desenvolvimento da obra. Estas datas são previsões, é possível que sejam concluídas previamente ou podem haver atrasos.

Não foram encontradas especificações do que deve ser disposto neste documento, nem nas normativas, nem na normativa técnica da Copel. Também não foram encontrados exemplos para se tomar como base e a concessionária não respondeu com informações relevantes para auxiliar no desenvolvimento deste documento.

#### 4.2.4 Memorial Descritivo do Projeto Elétrico

O Memorial Descritivo contempla os detalhes e descrições do projeto elétrico. Neste documento foram detalhadas as informações da UC e do sistema de energia solar fotovoltaica instalado, resumidos no Quadro 9.

Não está explícito uma forma a ser desenvolvido este documento. Entretanto, há critérios na normativa que devem estar presentes no projeto. O Memorial Descritivo completo é parte dos resultados deste trabalho e está exposto no Apêndice 4.



QUADRO 9 – DESCRIÇÃO DOS ITENS QUE COMPÕEM O MEMORIAL DESCRITIVO

Item	Componentes
1 – Dados da UC	Classe de consumo e tensão nominal; Disjuntor e transformador; Dados do titular e da localização da UC; Resumo do kit fotovoltaico.
2 – Dados de execução	Informações da empresa executora; Informações do engenheiro projetista; Detalhes da ART da obra.
3 – Conjunto fotovoltaico	Disposição dos arranjos fotovoltaicos; Disposição dos inversores; Resumo da conexão dos equipamentos; Inexigibilidade de licença ambiental.
4 – Dimensionamento CC	Dimensionamento dos cabos; Dimensionamento das proteções; Escolha dos materiais elétricos; Cálculos e considerações realizadas; Conexão elétrica do sistema.
5 – Dimensionamento CA	
6 - Aterramento	Esquema de aterramento TT; Características dos cabos e conexões; Haste de aterramento.
7 – Conexão com a Copel	Critérios elétricos para conexão; Sistema de minigeração distribuída; Conexão conforme a normativa; Adequações necessárias; Placa de advertência de GD.
8 – Fixação dos módulos	Fixação no telhado existente; Método e material de fixação; Grampos e perfis de alumínio.

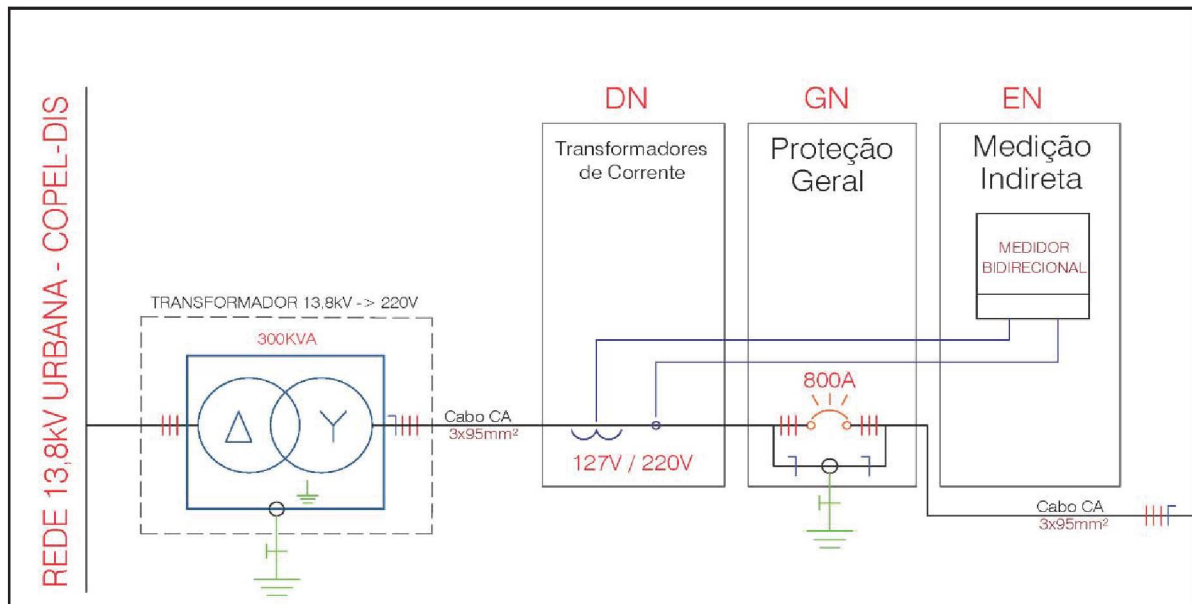
FONTE: O AUTOR (2020).

#### 4.2.5 Diagramas de Blocos e Unifilar

O Diagrama de Blocos desenvolvido mostrou de forma simplificada cada item e proteção utilizados no projeto elétrico. Foram omitidas as fases e as seções dos cabeios, a fim de tornar mais intuitivo e facilitar a compreensão inicial do projeto. Este diagrama contemplou desde módulos fotovoltaicos, inversores, autotransformadores e proteções CC e CA, até disjuntor, medidor e transformador do padrão de entrada da UC.

Já o Diagrama Unifilar elaborado foi bastante detalhado, sendo dividido em três folhas a fim de ser possível criar uma versão digital em tamanho A4 para ser anexada ao sistema. A primeira página expôs os detalhes do padrão de entrada da UC, mostrando as características do transformador e aprofundando as características da medição indireta utilizada em UCs deste tipo, mostrado na Figura 47.

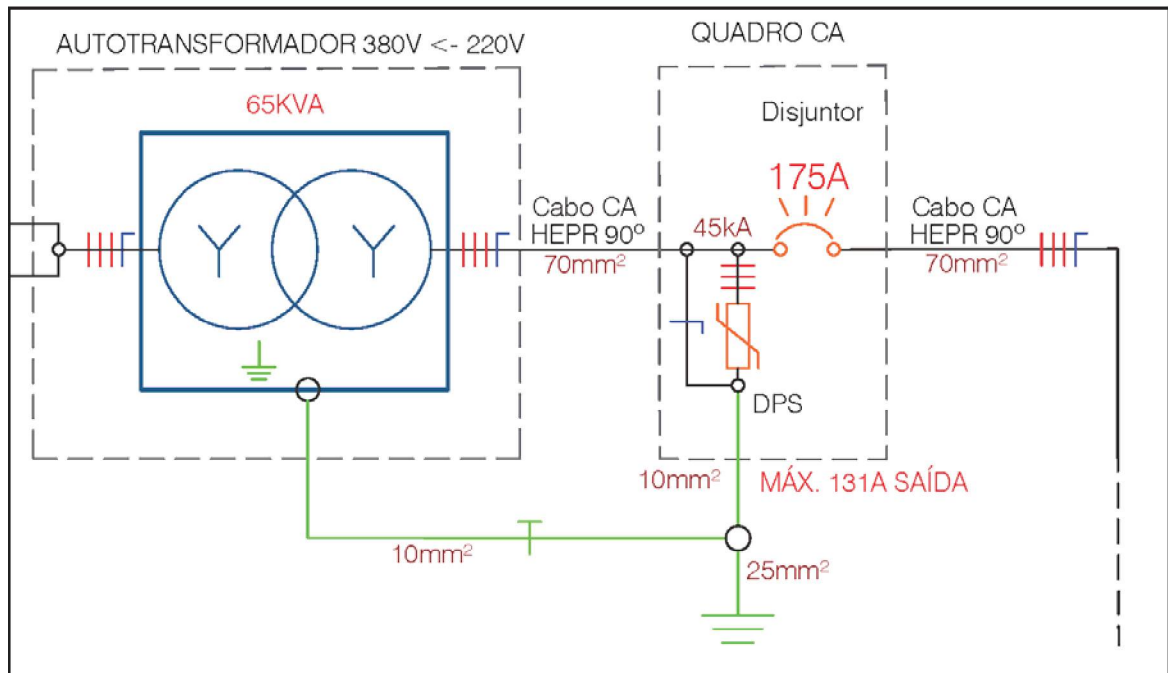
FIGURA 47 – PARTE DO DIAGRAMA UNIFILAR CONTENDO DETALHES DA ENTRADA



FONTE: O AUTOR (2020).

As páginas dois e três do Diagrama Unifilar mostraram de forma detalhada os cabos que interligam a rede aos autotransformadores e inversores, conectados previamente aos disjuntores e DPS CA, conforme mostrado na Figura 48.

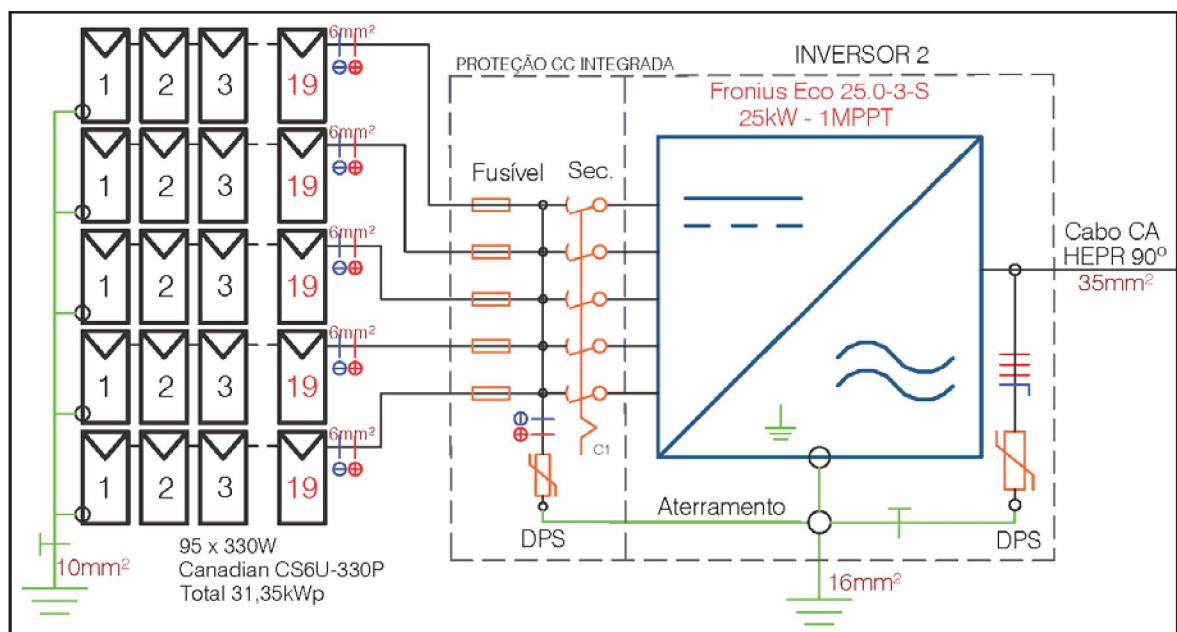
FIGURA 48 – PARTE CA DO DIAGRAMA UNIFILAR



FONTE: O AUTOR (2020).

Também foram mostradas, na Figura 49, as conexões dos cabos dos arranjos em cada entrada disponível nos inversores, expondo as proteções de fusíveis, DPS e chave seccionadora integradas aos inversores.

FIGURA 49 – PARTE CC DO DIAGRAMA UNIFILAR



FONTE: O AUTOR (2020).



O Diagrama de Blocos e o Diagrama Unifilar deste projeto são resultados deste trabalho e estão expostos no Apêndice 5. Também não há especificações por parte das normativas contendo o nível de detalhe que estes diagramas devem conter. O Diagrama de Blocos foi exclusivo para Minigeração Distribuída e foi difícil de ser elaborado por não haver exemplos disponíveis para consulta.

#### 4.2.6 Certificação dos Inversores

Atualmente, o INMETRO verifica e certifica apenas os inversores fotovoltaicos de potência menor ou igual a 10 kW. Entretanto, o projeto se utilizou de inversores com 25 kW de potência e, neste caso, foi necessário enviar seu certificado de conformidade para homologação pela própria Copel.

O certificado internacional de conformidade do inversor *Fronius Eco 25.0-3-S*, que foi enviado junto ao projeto, está exposto no Anexo 1.

#### 4.2.7 Dados para Processo de Registro de Central Geradora na ANEEL

A concessionária de energia necessita coletar informações para enviar à ANEEL. Sendo assim, foi necessário preencher uma planilha com as informações da UC e do sistema gerador, enviando junto aos documentos de homologação. Este documento é parte dos resultados deste trabalho e uma versão de impressão da planilha com os dados deste projeto está exposta no Apêndice 6.

Estas informações já deveriam ser preenchidas online assim como já é feito pela própria Copel na modalidade de Microgeração Distribuída. A atual tabela diz ser automática com alguns preenchimentos, mas observou-se vários problemas de estrutura da tabela e foi necessário realizar diversas correções de fórmulas para que a tabela ficasse corretamente preenchida.

#### 4.2.8 Inexigibilidade de Licença Ambiental

Este projeto envolveu a disposição dos painéis fotovoltaicos sobre os telhados e, sendo assim, não foi exigida licença ambiental por parte do IAP e da Copel para implementação do sistema gerador. Observou-se que, ao aproveitar os telhados de uma edificação já construída, o impacto ambiental relacionado à instalação e

funcionamento é baixíssimo, podendo facilmente ser considerado como ambientalmente amigável.

Este item foi destacado no memorial descritivo do projeto e na inserção das informações no sistema *online* de projetos da Copel. Além disso, houve uma conferência desta questão durante a vistoria. Sendo assim, não houve dificuldade quanto à licenciamento ambiental neste projeto.

#### 4.2.9 Envio e Aprovação do Projeto

O projeto pronto foi inserido na plataforma Projeto Elétrico Web (PEW) da COPEL (2020), parcialmente mostrado na Figura 50. Os dados e os anexos referentes ao projeto foram incluídos no portal, inserindo de acordo com a seleção do porte da obra de Minigeração Distribuída.

FIGURA 50 – PORTAL DE PROJETOS PEW COPEL

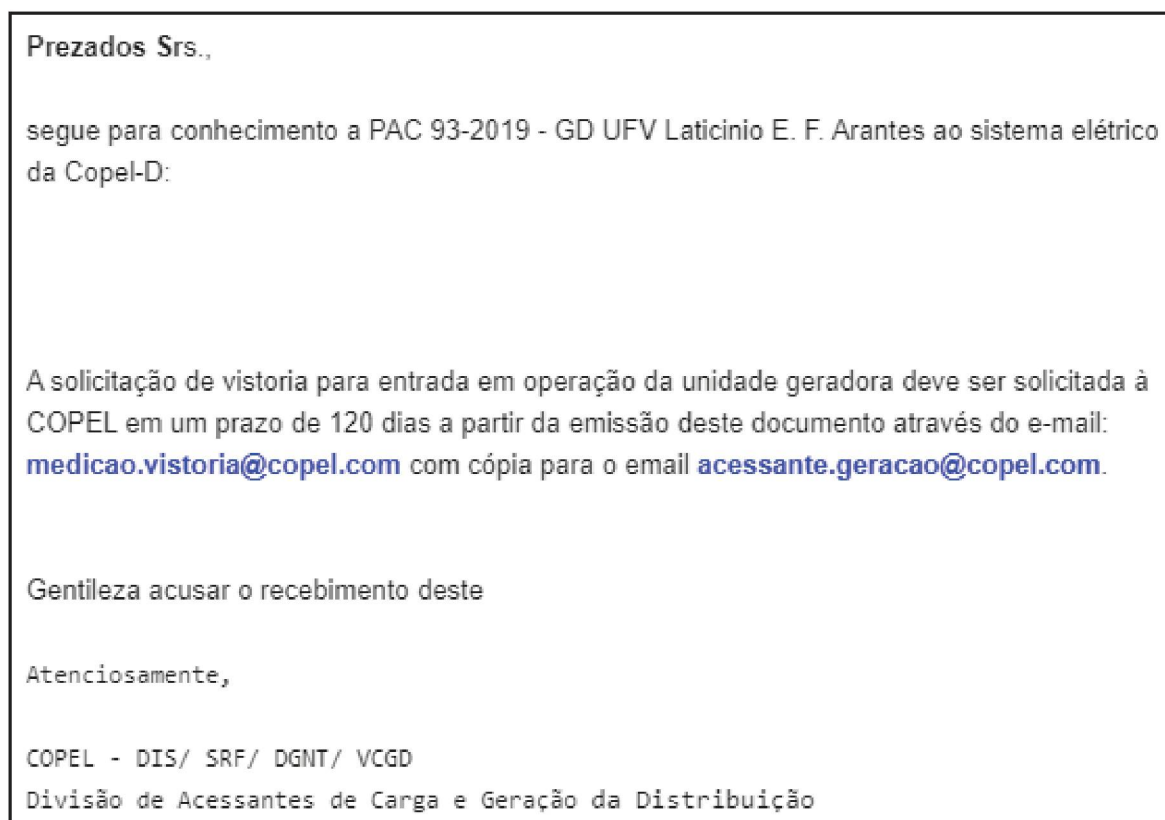
FONTE: COPEL (2020).

Para a inserção no sistema *online* da Copel, foi necessário realizar um cadastro prévio do responsável técnico. Os passos foram bastante intuitivos e houveram poucas dúvidas referentes no preenchimento dos campos existentes. Algumas dúvidas foram sanadas via comunicação direta com um telefone exclusivo

para tratar assuntos do portal. Após a confirmação da aprovação do projeto, mostrada na Figura 51, foi liberada a instalação dos equipamentos do sistema de geração de energia.

Os documentos exclusivos de Minigeração Distribuída necessários na homologação foram: o Cronograma de Implantação e Expansão, o Memorial Descritivo e o Diagrama de Blocos. Já o Diagrama Unifilar, a Solicitação de Acesso e os Dados para Processo de Registro na ANEEL tiveram um desenvolvimento mais complexo do que na versão de Microgeração Distribuída.

FIGURA 51 – EMAIL COM A APROVAÇÃO DO PROJETO



FONTE: O AUTOR (2020).

Após a análise do projeto, foi emitido um Parecer de Acesso e a concessionária passou a aguardar que a vistoria fosse solicitada.

A partir de todo o tratado ao longo deste estudo, percebeu-se que os procedimentos de efetivação de um sistema de minigeração não estão totalmente claros na regulamentação disponível e faltam exemplos detalhados de casos reais.



#### 4.2.10 Adequações do Padrão de Entrada da UC

A fase de execução do sistema ocorreu corretamente após a aprovação do projeto. Antes de solicitar a vistoria, visou-se corrigir alguns itens da instalação elétrica existente e do padrão de entrada do imóvel, conforme exigências das normativas e experiência prévia com as vistorias da Copel.

Para que seja aprovada a vistoria, um dos requisitos foi a boa condição dos itens do padrão de entrada. Neste caso, observou-se que haviam muitos cabos de seções diferentes conectados diretamente na saída do disjuntor, o qual configura como má condução de energia e pode resultar em superaquecimento.

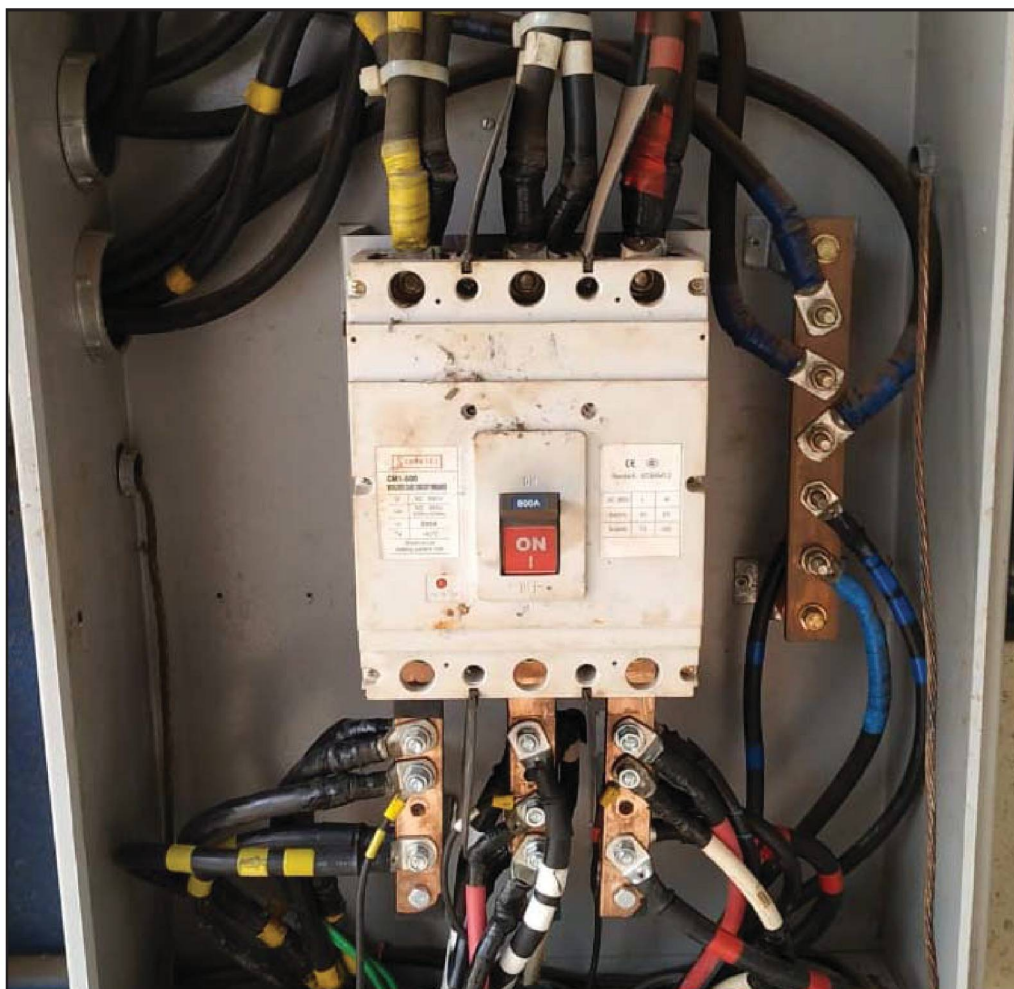
Possivelmente essa condição se deu com o crescimento da indústria com o passar do tempo. Sendo assim, adicionou-se uma barra de cobre de seção apropriada para 800 A e conectou-se cada cabo com um terminal de compressão do tipo olhal. Já havia uma isolação de borracha entre as fases dos bornes do disjuntor, a qual também está protegendo as barras de cobre. O disjuntor com os bornes alterados é mostrado na Figura 52.

Além disso, um dos requisitos mais analisados pelos técnicos da Copel é a individualidade da entrada de energia no imóvel. Geralmente é analisado se as fiações que existem no imóvel partem somente de uma única entrada ou de múltiplas entradas agrupadas. Neste caso, o imóvel todo é atendido com um único padrão de entrada e não houve problemas quanto a isto.

Constata-se que para a efetivação de GD, a companhia Copel buscou seguir à risca e cobrar muitos detalhes de regularização do padrão de entrada. Contudo, a própria normativa diz que se deve adequar somente os itens que ofereçam riscos ou que impeçam a leitura ou medição.

Uma das adequações que sempre deve ser feita é a fixação de uma placa de advertência personalizada contendo os dizeres 'Cuidado Geração Distribuída Copel', mostrada na Figura 53, a qual deve ser de material metálico e fixada com materiais também metálicos.

FIGURA 52 – DISJUNTOR DO PADRÃO DE ENTRADA COM BORNES INFERIORES CORRIGIDOS



FONTE: O AUTOR (2020).

FIGURA 53 – PLACA DE ADVERTÊNCIA PARA GD DA COPEL



FONTE: O AUTOR (2020).



Sendo assim, conferiu-se o máximo de itens passíveis de haver necessidade de adequação, de modo a garantir uma maior probabilidade de efetivação da vistoria. Ainda assim, seria possível que os técnicos da companhia de energia exigissem alguma outra adequação durante a vistoria.

Observa-se que nem tudo que está nas normativas técnicas é seguido à risca, algumas informações e critérios mudam com pareceres internos e passam a valer mesmo não estando contidas nos documentos oficiais.

#### 4.2.11 Vistoria do Sistema

Após a finalização da obra, foi realizado o pedido de vistoria para efetivação e início do funcionamento do sistema. Sendo assim, foram preenchidos os documentos requisitados para ser possível solicitar a vistoria. As normativas técnicas da ANEEL e os manuais da distribuidora se mostraram insuficientes quanto às informações técnicas para a vistoria.

Os documentos requisitados para solicitar a vistoria foram a ART assinada e um formulário *checklist* contendo a confirmação dos requisitos prévios para a vistoria de minigeração. Este formulário preenchido e assinado encontra-se no Apêndice 7.

Além disso, foi necessário reunir as imagens referentes ao sistema, conforme requisitado pelo *checklist*. As imagens enviadas contemplam os arranjos fotovoltaicos, os números de série dos módulos, os inversores instalados, os números de série dos inversores, o padrão de entrada já com a placa de advertência fixada e a fachada do imóvel. Estes requisitos provavelmente foram úteis a fim de confirmar se a execução da obra e as adequações estão completas, antes que sejam enviados os técnicos da companhia de energia até o local.

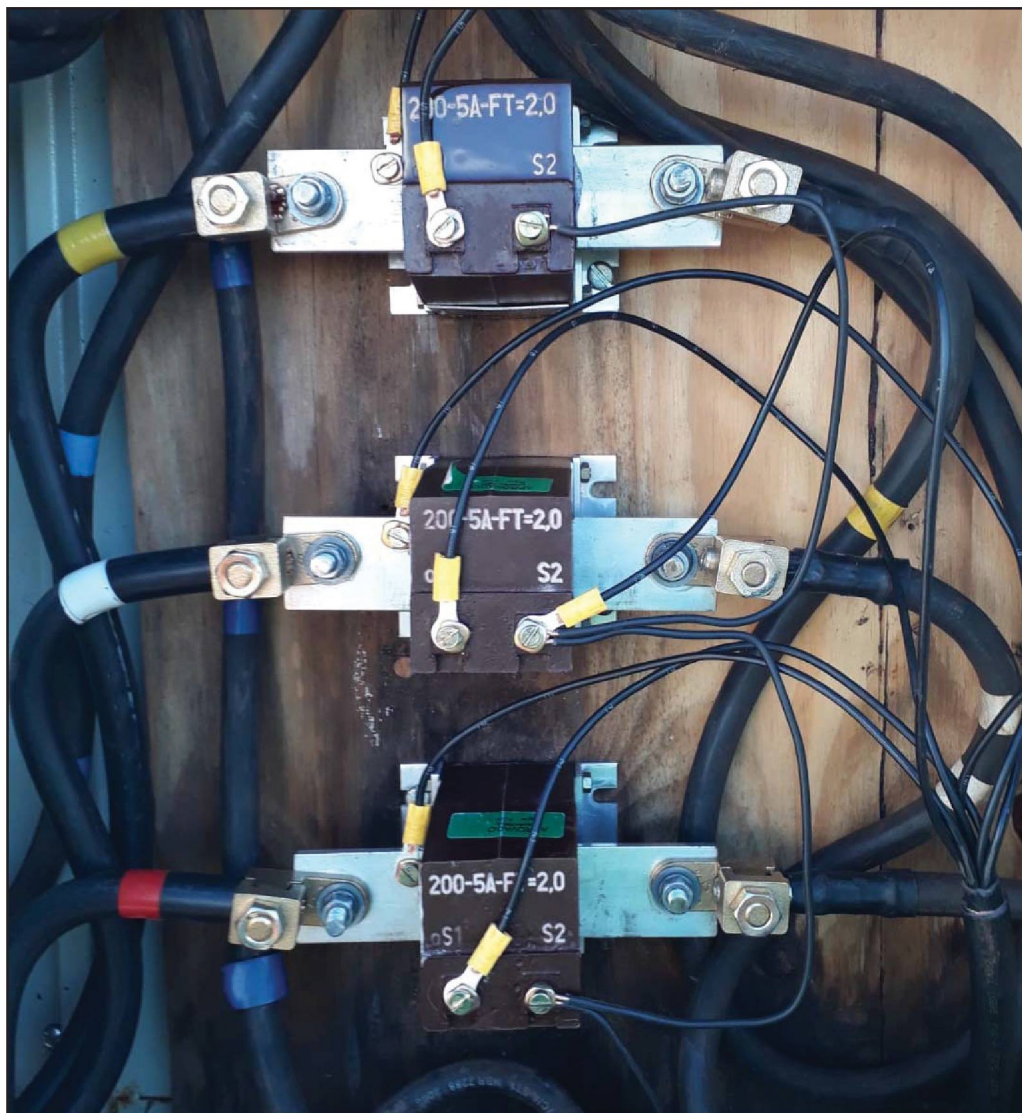
A companhia de energia agendou um dia e horário para realizar a vistoria de conexão do sistema à rede. O processo ocorreu na presença dos técnicos da Copel, junto do engenheiro responsável, o técnico supervisor e o dono da indústria. Foi seguido um *checklist* próprio, de modo a tornar o processo mais eficaz e normalizado. O medidor foi atualizado para a modalidade bidirecional e os TCs, mostrados na Figura 54, foram conferidos.

Houve conferência visual do sistema gerador de energia e o número de série dos inversores e dos TCs foram coletados. Após a modificação da medição, foi



realizado um teste de tensão conferindo se as tensões não subiram muito com os inversores ligados, funcionando sob uma considerável potência.

FIGURA 54 – TCS PARA MEDIÇÃO INDIRETA



FONTE: O AUTOR (2020).

A fim de garantir a correta desconexão do sistema gerador, o teste de anti-ilhamento foi feito desligando o disjuntor geral, verificando se os inversores se desconectaram da rede e se houve ausência de tensão nas fases. A placa de advertência fixada na medição, mostrada na Figura 55, também foi conferida.

Por fim, foi coletado a assinatura do dono da empresa no Relatório de Vistoria, mostrado no Anexo 2, e entregue ao mesmo. Este é um documento importante nos resultados deste trabalho, pois demonstra êxito na elaboração e concretização do projeto.

FIGURA 55 – PLACA DE ADVERTÊNCIA FIXADA NA MEDIÇÃO



FONTE: O AUTOR (2020).

Sendo assim, expõe-se que as exigências da vistoria podem variar conforme é orientado aos técnicos de cada região, conforme o porte do sistema gerador e conforme são incluídas novas regras.

### 4.3 VERIFICAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

#### 4.3.1 Coleta de Dados do Sistema

Um dos inversores possuía um *datalogger*, que é um dispositivo de aquisição de dados da própria fabricante, o qual se comunica com o servidor *Fronius Solar Web* para armazenamento e disposição dos dados. A comunicação entre os inversores foi feita utilizando a configuração mestre e escravo. O inversor que contém o *datalogger* foi colocado como mestre (*master*) e os demais inversores foram colocados como escravos (*slave*).

A conexão entre os inversores foi feita com cabos de rede de 4 pares, utilizando as portas *IN* e *OUT*. A Figura 56 indica que os inversores são conectados em série, com cada cabo conectado uma ponta na porta *IN* e a outra ponta na porta *OUT*. Além disso, mostra que o *datalogger* também se conecta na internet via *Wi-Fi*, mas no caso deste projeto foi feita uma conexão via cabo de rede.

FIGURA 56 - CONFIGURAÇÃO DE CONEXÃO DOS INVERSORES NA INTERNET



FONTE: FRONIUS (2019a).

Os inversores possuem sensores utilizados para monitorar a produção energética. Os dados são dispostos em gráficos ou valores numéricos no site. Também são mostrados alertas em caso de falhas de comunicação ou funcionamento.

O monitoramento registra a cada 5 minutos um histórico de informações contendo: corrente CA de cada fase, corrente CC de cada entrada, tensão CA de cada fase, tensão CC de cada entrada, fator de potência, potência total e potência aparente.

Os registros da *Fronius Solar Web* mostram os valores de geração de energia e estão disponíveis online, mas não mostram os valores de consumo. Sendo assim, foi acessado o sistema AVA da Copel (2019), o qual contém informações de consumo referentes à unidade consumidora.



#### 4.3.2 Detalhes Sobre a Geração

A energia gerada pelo sistema fotovoltaico em GD é primeiramente consumida nas cargas do imóvel e somente o que não é usado no momento é enviado para a rede da companhia de energia. Então, o medidor bidirecional está marcando o quanto de energia que sobrou da geração e que foi enviado para a rede, além de marcar o quanto faltou e foi necessário ser complementado pela rede da Copel em horários de alto consumo ou baixa produção.

Sendo assim, o registro do quanto de energia foi gerada está disponível no monitoramento do inversor. Deste modo, pode-se consultar o total gerado pelo painel individual de cada inversor ou consultar o servidor da *Fronius Solar Web* para analisar a geração de qualquer período registrado, conforme mostrado na Figura 57.

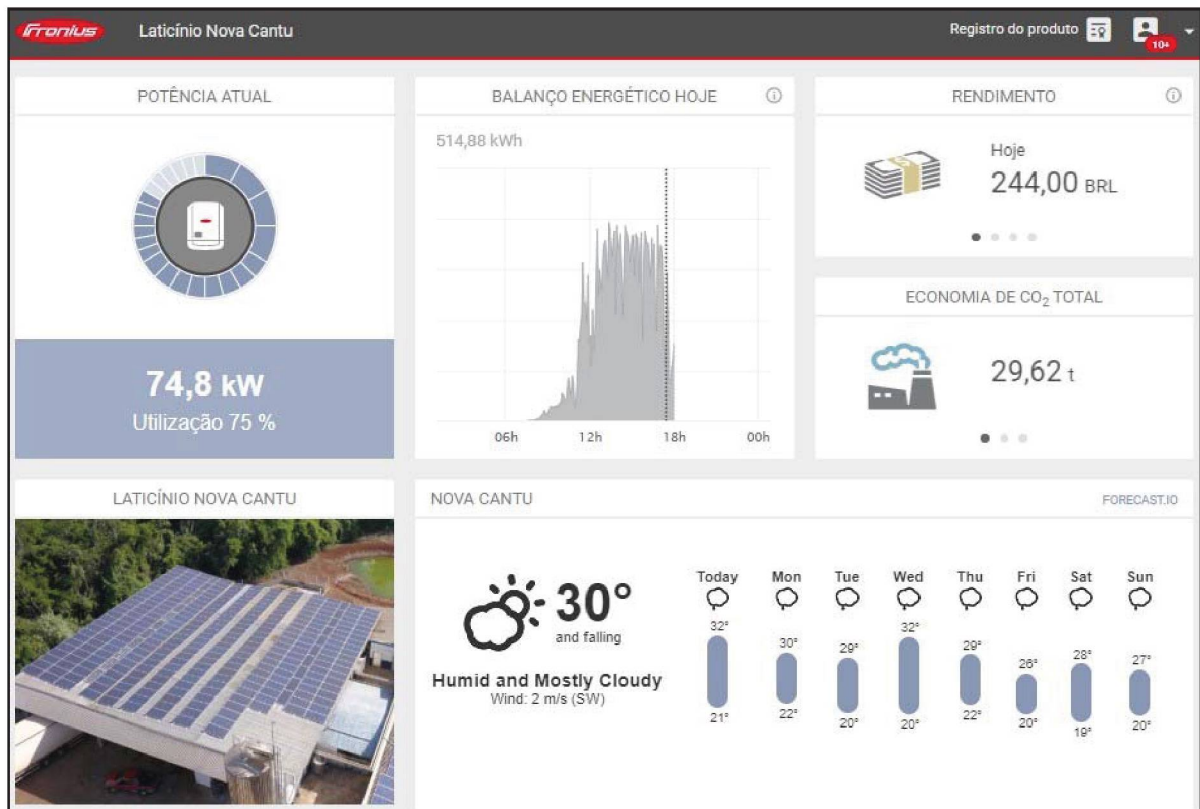
O monitoramento indica em tempo real a potência de funcionamento do sistema, de modo a manter um histórico fiel de produção. Além disso, este portal indica valores estimados de economia financeira com base na tarifa vigente e de redução de CO<sub>2</sub> comparando com outros tipos de geração de energia mais poluentes.

A geração de energia está funcionando principalmente das 6 horas até as 18 horas. Portanto, toda a energia gerada pelo sistema, que está sendo enviada para a rede da Copel, é tarifada no horário de fora ponta para efeitos de compensação. Observa-se na Figura 58 que a potência do sistema geralmente é maior entre as 10 e 15 horas, não sendo significativa nos horários de início e fim do dia.

Pode-se observar também na Figura 58 que, em um dia ensolarado, a tensão CC dos arranjos fotovoltaicos cresceu espontaneamente no momento em que o sol nasceu, operando próxima dos 600 V. Esta tensão oscilou por diversos fatores como sombreamentos parciais ou nuvens, afetando o desempenho do sistema dependendo do horário em que isso acontece.

Observa-se que, com o aumento na irradiação solar, a temperatura dos módulos aumentou e, conseqüentemente, a tensão CC diminuiu razoavelmente. A temperatura dos componentes do sistema fotovoltaico se manteve estável durante o pleno funcionamento em um dia ensolarado. Sob temperaturas máximas, os disjuntores funcionaram à 56° C, os inversores à 50° C, os autotransformadores à 63° C. Não houveram pontos de aquecimento nem nos cabeamentos, nem nas proteções.

FIGURA 57 – MONITORAMENTO DO SISTEMA



FONTE: SOLAR WEB (2020).

FIGURA 58 – POTÊNCIA E TENSÃO CC DE UM INVERSOR EM DIA ENSOLARADO



FONTE: SOLAR WEB (2020).

Havia uma quantidade significativa de energia reativa no imóvel, possivelmente devido à injeção de resíduos por parte dos motores e equipamentos da fábrica. Inclusive chegou a atingir o limite nos inversores em alguns momentos, fazendo-os pausar a produção. Isto foi corrigido ao aumentar levemente o limite relativo do parâmetro *DC Injection* de 0,03% para 0,07% nas configurações avançadas, conforme recomendado pelo fabricante.

#### 4.3.3 Resumo de Produção e Faturamento do Período Considerado

Foram analisados os três primeiros meses de produção e de faturamento do sistema de geração de energia fotovoltaico do laticínio. Este sistema foi efetivado no fim da tarde do dia 20 de setembro de 2019. Observou-se que o início do funcionamento do sistema praticamente coincidiu com o dia da leitura da Copel.

O período de faturamento da Copel foi diferente do período de produção mensal mostrado pelo monitoramento do sistema. As faturas de energia analisadas estão no Anexo 3.

Analisou-se o funcionamento do sistema e encontrou-se empiricamente que do total de energia produzida pelo sistema, uma parcela de energia foi enviada à rede. Essa parcela é registrada na fatura a fim de compensar a energia recebida pelo imóvel. Assim, foi possível calcular quanto de energia foi consumida imediatamente pelas cargas internas do laticínio.

No mesmo raciocínio, observou-se que somando-se a quantidade excedente de energia tarifada com a energia que foi compensada obteve-se o total de energia recebida da rede. Então, o total consumido pelo imóvel é a soma dos dois valores resultantes. Sendo assim, o Quadro 10 mostra um resumo da movimentação da energia gerada e utilizada no imóvel nos três últimos meses do ano.

Observou-se também que não houve sobra de energia nos meses considerados e, portanto, não sobraram créditos energéticos para meses posteriores. Além disso, o consumo interno foi de 78% de toda energia gerada. Este valor se mostrou próprio de imóveis industriais com geração de energia solar fotovoltaica, pois a geração se dá nos horários de sol, assim como a produção e consumo de energia do laticínio. Em imóveis residenciais o consumo é diferente, podendo encontrar valores entre 15% e 35% de consumo interno sobre o total produzido.



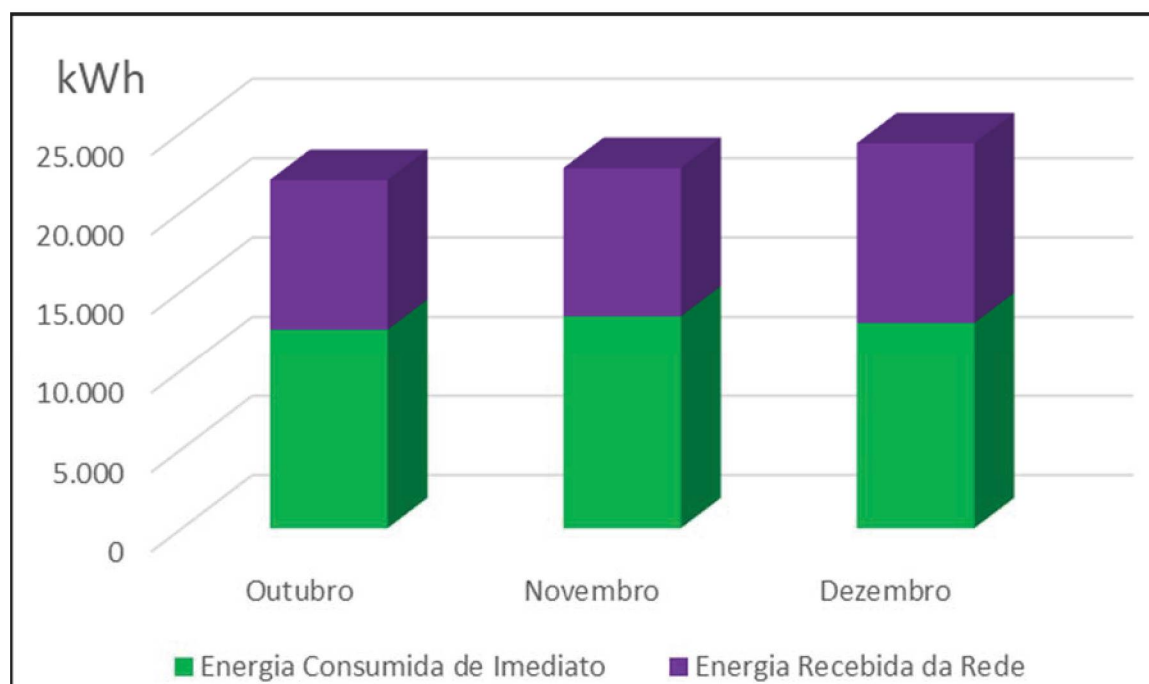
QUADRO 10 – RESUMO DA ENERGIA PRODUZIDA E FATURADA NO TRIMESTRE

Mês de Referência	Outubro	Novembro	Dezembro
Período de Leitura	21/09 a 21/10	21/10 a 21/11	21/11 a 21/12
Total de Energia Gerada	16.143 kWh	17.195 kWh	16.115 kWh
Energia Enviada à Rede	- 3.604 kWh	- 3.806 kWh	- 3.148 kWh
Total de Energia Consumida de Imediato	12.539 kWh	13.389 kWh	12.967 kWh
Consumo Excedente Tarifado	5.845 kWh	5.538 kWh	8.182 kWh
Energia Compensada	+ 3.604 kWh	+ 3.806 kWh	+ 3.148 kWh
Total de Energia Recebida da Rede	9.449 kWh	9.344 kWh	11.330 kWh
<b>TOTAL CONSUMIDO</b>	<b>21.988 kWh</b>	<b>22.733 kWh</b>	<b>24.297 kWh</b>

FONTE: ADAPTADO DE COPEL (2019) E SOLAR WEB (2020).

Sendo assim, a Figura 59 ilustra os dados resultantes do Quadro 10, destacando a proporção da energia que foi consumida durante a produção e da energia que foi posteriormente recebida da rede.

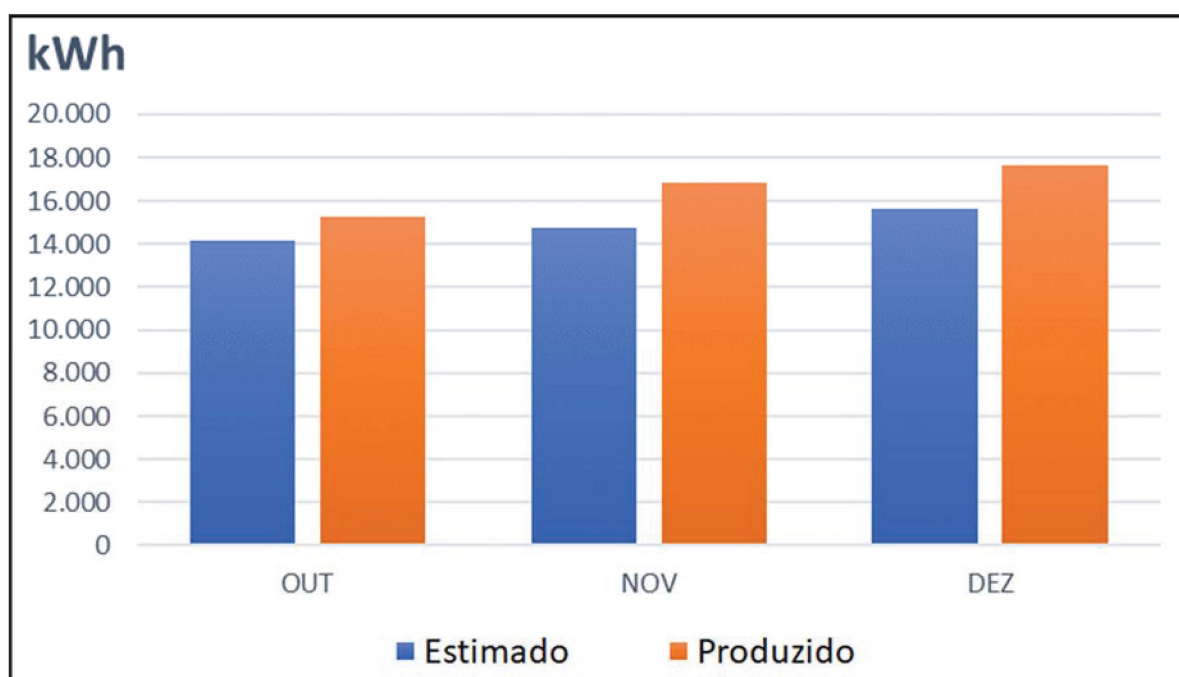
FIGURA 59 – PROPORÇÃO DE CONSUMO NO TRIMESTRE CONSIDERADO



FONTE: O AUTOR (2020).

Através dos resultados dos Quadros 8 e 10, pôde-se elaborar a Figura 60 que traz informações comparativas da produção com a estimativa realizada neste trabalho. Foram comparados somente os valores do trimestre considerado, no qual já havia dados coletados de produção. Observa-se que o total produzido mensalmente foi maior que o valor estimado, mostrando que a produtividade do sistema fotovoltaico está de acordo. Entretanto, este valor podia ter variado para menos em alguns meses, sem comprometer a eficácia da estimativa.

FIGURA 60 – COMPARATIVO DA GERAÇÃO MENSAL DO SISTEMA DO ESTIMADO COM O REAL PRODUZIDO DURANTE O TRIMESTRE



FONTE: O AUTOR (2020).

Observou-se que o período de leitura de dezembro coincidiu com um período de chuvas de produção um pouco mais baixa, mas que ainda foi um mês quente de alto consumo energético no laticínio. Em compensação, os últimos 10 dias de dezembro tiveram uma excelente produção, que refletiram no período de leitura seguinte.

O total de energia consumida em cada mês foi de 21.988 kWh, 22.733 kWh e 24.297 kWh. Estima-se que, sem a geração de energia, as faturas de energia poderiam chegar a aproximadamente R\$14.600,00, R\$15.500,00 e R\$18.300,00. Os itens faturados foram resumidos nos itens do Quadro 11.

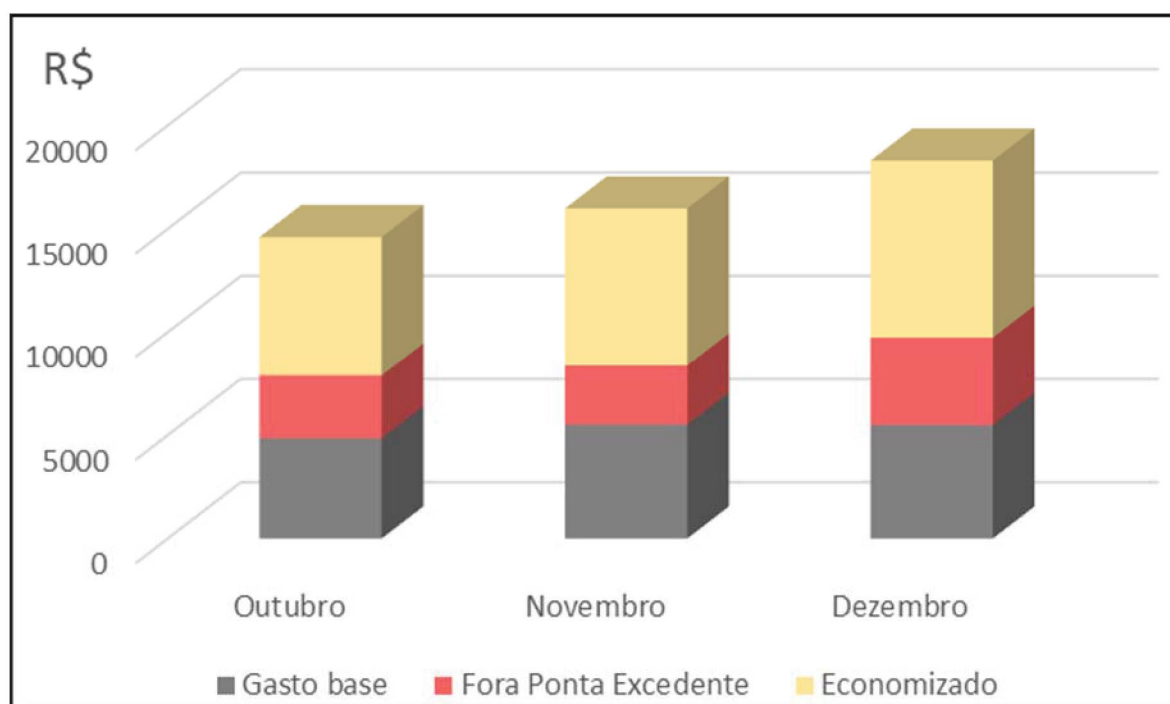
QUADRO 11 – RESUMO DOS ITENS FATURADOS NO TRIMESTRE CONSIDERADO

Item	Outubro	Novembro	Dezembro
Demanda Contratada	R\$ 1.828,04	R\$ 1.810,79	R\$ 1.994,08
Consumo de Energia de Ponta	R\$ 1.977,58	R\$ 2.527,48	R\$ 2.268,83
Consumo Excedente de Energia Fora Ponta	R\$ 3.047,24	R\$ 2.871,64	R\$ 4.244,49
Energia Reativa	R\$ 699,49	R\$ 718,76	R\$ 814,56
Bandeiras Não Devolvidas	R\$ 225,99	R\$ 329,62	R\$ 314,98
ICMS Parcial da Energia Injetada e Compensada	R\$ 117,45	R\$ 124,04	R\$ 102,59
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 7.895,79</b>	<b>R\$ 8.382,33</b>	<b>R\$ 9.739,53</b>

FONTE: ADAPTADO DE COPEL (2019).

Deste modo, a Figura 61 ilustra os principais dados do Quadro 11, destacando a proporção entre o custo base mensal, a energia de Fora Ponta excedente, que poderia ser economizada, e a energia de Fora Ponta que efetivamente foi economizada.

FIGURA 61 – FATURAMENTO E ECONOMIA CALCULADA DO TRIMESTRE CONSIDERADO



FONTE: O AUTOR (2020).



Observou-se que o Paraná passou por uma isenção parcial de ICMS e atualmente é cobrado somente a parcela de uso de sistema (TUSD). Sendo assim, toda a energia que foi injetada na rede e foi recebida posteriormente sofreu cobrança de ICMS sobre a parte de uso de sistema.

Além disso, houve cobrança de bandeiras tarifárias sobre o consumo excedente. Contudo, as bandeiras tarifárias sobre a energia injetada e compensada foram devolvidas na fatura de energia, pois esta energia foi gerada por meio de fontes renováveis e entregue à rede e, portanto, não faria sentido esta cobrança.

Pôde ser observado que houve economia também com uma redução da demanda utilizada de aproximadamente R\$250,00, a qual teve influência do suporte que o sistema gerador ofereceu às cargas elétricas do laticínio.

Outro fator observado foi a energia reativa faturada mensalmente, a qual caso seja corrigida pode trazer economia de aproximadamente R\$700,00. Para reduzi-la, seria necessário realizar uma análise quantitativa de acordo com os horários de funcionamento dos motores e equipamentos existentes, a fim de dimensionar e implementar um banco de capacitores para correção do Fator de Potência. O proprietário do empreendimento foi orientado quanto a esta possibilidade.

Sendo assim, a análise da produtividade e da compensação energética se mostrou de acordo com o previsto e corrobora a eficácia deste estudo.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sucesso com a vistoria garantiu a efetivação deste sistema fotovoltaico e, portanto, corrobora que este estudo alcançou seu objetivo principal. Para tanto, foi necessário analisar as normativas vigentes para GD, a norma técnica da Copel específica e solucionar as questões que surgiram durante a homologação do projeto.

O dimensionamento CC dos arranjos fotovoltaicos, levando em conta a variação com a temperatura, garantiu que os parâmetros de tensão e corrente fiquem dentro dos limites do inversor. O dimensionamento CA também obteve êxito, pois não se detectou sobretensão ou elevação de temperatura nos cabamentos e dispositivos CA durante o funcionamento do sistema.

O Atlas Solar Paraná e o *software Radasol* mostraram-se excelentes ferramentas gratuitas para análises de produtividade de sistemas fotovoltaicos. Além disso, permitiram calcular a estimativa de geração mensal com base na real inclinação e orientação dos painéis fotovoltaicos.

Observou-se que a modalidade de Minigeração Distribuída requer muitos documentos e um grande empenho durante o processo de homologação, os quais foram desenvolvidos com sucesso. O projeto elétrico envolvido neste estudo foi desenvolvido com sucesso. Entretanto, a documentação de licenciamento ambiental não foi necessária por se tratar de um sistema fotovoltaico disposto sobre telhados.

Foi possível identificar as readequações necessárias do padrão de entrada da UC e da rede elétrica interna do imóvel, com base nas normativas vigentes. Neste caso, as modificações foram relativamente simples pois as condições elétricas do imóvel eram boas.

Com o incremento de potência, são exigidos mais documentos de projeto e a vistoria pode conferir e exigir mais itens de adequação do padrão de entrada ou subestação do acessante. Após finalizar e efetivar este sistema de geração de energia, foi possível expor muitos dos detalhes pertinentes a este processo.

O sistema está funcionando adequadamente quanto à produtividade, à temperatura de operação e às características elétricas. Através dos dados de faturamento da Copel e do monitoramento de produção da *Fronius Solar Web* foi possível compreender e avaliar o desempenho da produção energética.

## REFERÊNCIAS

ABB. **Product Manual UNO-DM-6.0-TL-PLUS-US**. Zurique, 2017. Disponível em: <<https://library.e.abb.com/public/8876a8418c9841bda94112337c484273/UNO-DM-6.0-TL-PLUS-US-Product%20manual%20EN-RevA.pdf>>. Acesso em: 26 nov. 2019.

ABNT [Associação Brasileira de Normas Técnicas]. **NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 10899: Energia solar fotovoltaica – terminologia**. Rio de Janeiro, 2006.

ACCUWEATHER, Inc. **Tempo em Nova Cantu, Paraná**. 2019. Disponível em: <<https://www.accuweather.com/pt/br/nova-cantu/40223/november-weather/40223?year=2019>>. Acesso em: 30 dez. 2019.

AGUIAR JUNIOR, E. A.; PINTO, V. M. **Breve avaliação do cenário regulamentar da geração distribuída no Brasil**. Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2017. Disponível em: <<https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos17/28625363.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2019.

ALMEIDA, W. C. **Direito, desenvolvimento e meio ambiente: teoria e prática**. Curitiba: CRV, 2017.

ANEEL [Agência Nacional de Energia Elétrica]. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 1. ed. Brasília, 2002. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro\\_atlas.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf)>. Acesso em: 29 nov. 2019.

\_\_\_\_\_. **Resolução Normativa nº 482**, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída [...] e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 2012a. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 30 nov. 2019.

\_\_\_\_\_. **Resolução normativa nº 517**, de 11 de dezembro de 2012. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e o Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Brasília, 2012b. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012517.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2019.

\_\_\_\_\_. **Resolução Normativa nº 676**, de 25 de agosto de 2015. Estabelece os requisitos necessários à outorga de autorização para exploração e alteração da capacidade instalada de centrais geradoras fotovoltaicas, [...] e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 2015a. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2015676.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2020.

\_\_\_\_\_. **Resolução Normativa nº 687**, de 24 de novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Brasília: Diário Oficial da União, 2015b. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 30 nov. 2019.



\_\_\_\_\_. **PRODIST – Módulo 3.** Brasília: Diário Oficial da União, 2016. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/modulo-3>>. Acesso em: 02 jan. 2020.

\_\_\_\_\_. **Outorgas e Registros de Geração:** Unidades consumidoras com geração distribuída. Brasília: SCG, 2020a. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/outorgas/geracao/-/asset\\_publisher/mJhnKli7qcJG/content/registro-de-central-geradora-de-capacidade-reduzida/655808](http://www.aneel.gov.br/outorgas/geracao/-/asset_publisher/mJhnKli7qcJG/content/registro-de-central-geradora-de-capacidade-reduzida/655808)>. Acesso em: 27 jan. 2020.

\_\_\_\_\_. **Sistema de Informações de Geração da ANEEL – SIGA.** Brasília: SCG, 2020b. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/siga>>. Acesso em: 30 fev. 2020.

ANTUNES, P. B. **Direito Ambiental.** 12. ed. Rio de Janeiro: Editora Lumens Júris, 2011.

AURORA SOLAR, Inc. **How Solar Irradiance Is Calculated—and How We Made It 30 Times Faster.** Aurora Blog, 2018. Disponível em: <<https://blog.aurorasolar.com/how-solar-irradiance-is-calculated-and-how-we-made-it-30-times-faster>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

BARBOSA, W. P. F.; AZEVEDO, A. C. S. **Discussão sobre a minuta de Resolução CONAMA sobre o licenciamento ambiental de usinas eólicas em superfície terrestre.** Belo Horizonte: FEAM, 2013.

BECKER, B. K. Reflexões sobre hidrelétricas na Amazônia: água, energia e desenvolvimento. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. **Ciências Humanas - UFRJ**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 3, p. 783-790, set.-dez, 2012.

BORBA, E. N. **Energia hidrelétrica e seus principais riscos hoje no Brasil: o caso das PCH's.** Rio de Janeiro: UFRJ, 2015.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.** Brasília, 05 out. 1988.

CANADIAN SOLAR, Inc. **Maxpower CS6U-315|320|325|330P.** Guelph, Canadá, 2016. Disponível em: <[https://s3.us-east-2.amazonaws.com/legacy.portalsolar.com.br/Content/EditorImages/files/PT\\_MaxPower\\_CS6U-P\\_pt-v5\\_54.pdf](https://s3.us-east-2.amazonaws.com/legacy.portalsolar.com.br/Content/EditorImages/files/PT_MaxPower_CS6U-P_pt-v5_54.pdf)>. Acesso em: 16 dez. 2019.

CEMIG [Companhia Energética de Minas Gerais]. **Alternativas energéticas: uma visão CEMIG.** Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <[http://www.cemig.com.br/pt-br/A\\_Cemig\\_e\\_o\\_Futuro/inovacao/Alternativas\\_Energeticas/Documents/Alternativas%20Energ%C3%A9ticas%20-%20Uma%20Visao%20Cemig.pdf](http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/inovacao/Alternativas_Energeticas/Documents/Alternativas%20Energ%C3%A9ticas%20-%20Uma%20Visao%20Cemig.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2019.

CLEAN ENERGY REVIEWS. **Solar Panels Construction.** Transfer Solar, 2018. Disponível em: <<https://www.cleanenergyreviews.info/blog/solar-panel-components-construction>>. Acesso em: 20 dez. 2019.

CREA-PR [Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Paraná]. **Sistema de ART do Crea-PR**. Curitiba, 2020. Disponível em: <<https://www.crea-pr.org.br/ws/sistema-de-art-do-crea-pr>>. Acesso em: 20 fev. 2020.

CONFAZ [Conselho Nacional de Política Fazendária]. **Convênio ICMS 16**, de 22 de abril de 2015. Ministério da Fazenda. Diário Oficial da União: Brasília, 2015. Disponível em: <[https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2015/CV016\\_15](https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2015/CV016_15)>. Acesso em: 10 jun. 2019.

COPEL [Companhia Paranaense de Energia Elétrica]. **Normas Técnicas Copel - NTC 905200**. Curitiba, 2018. Disponível em: <[https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/verdocatual/E59DF9E94B635F678325831D0047F719/\\$FILE/NTC905200\\_Rev04102018.pdf](https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/verdocatual/E59DF9E94B635F678325831D0047F719/$FILE/NTC905200_Rev04102018.pdf)>. Acesso em: 20 jan. 2020.

\_\_\_\_\_. **Agência Virtual do Grupo A**. Curitiba, 2019. Disponível em: <<https://www.copel.com/avaweb/>>. Acesso em: 20 out. 2019.

\_\_\_\_\_. **PEW – Projeto Elétrico Web**. Curitiba, 2020. Disponível em: <<https://www.copel.com/pewweb/>>. Acesso em: 09 jan. 2020.

CRESESB [Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito]. **Energia Solar Fotovoltaica**. CEPEL, 2008. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&lang=pt&cid=321](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=321)>. Acesso em: 20 dez. 2019.

DANTAS, S. G.; POMPERMAYER, F. M. Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico. **Texto para Discussão - Ipea**, Rio de Janeiro, n. 2388, p. 1-34, 2018.

DANTE, P. H.; ELDESTEIN, R. Aspectos jurídicos relevantes sobre a geração distribuída, percepção teórica e prática: Riscos envolvidos e possibilidade de alteração de norma com impacto em projetos existentes. **Revista do Direito da Energia**, São Paulo, n. 14, p. 366-87, dez., 2017.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026**. Ministério de Minas e Energia. Brasília: MME/EPE, 2017. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-40/PDE2026.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2019.

\_\_\_\_\_. **Matriz Energética e Elétrica**. Ministério de Minas e Energia. Brasília: MME/EPE, 2019. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/abcdnenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

ESPOSITO, A. S.; FUCHS, P. G. Desenvolvimento tecnológico e inserção da energia solar no Brasil. **Revista do BNDES**, v. 40, dez., p. 85-114, 2013.

EUROPEAN COMMISSION (ED.). **Photovoltaic solar energy: development and current research**. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Union, 2009.

FRAUNHOFER ISE. **Photovoltaics report**. Freiburg: PSE Conferences & Consulting GmbH, 2019. Disponível em: <<https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>>. Acesso em: 19 dez. 2019.

FREIRE, L. Energias renováveis complementares: benefícios e desafios. **FGV Energia**, Rio de Janeiro, n. 4, p. 6-7, dez. 2015.

FRONIUS, International GmbH. **Normas e Redes**. Wels, Áustria, 2012. Disponível em: <[https://download.aldo.com.br/energy/2\\_Normas\\_Redes.pdf](https://download.aldo.com.br/energy/2_Normas_Redes.pdf)>. Acesso em: 28 dez. 2019.

\_\_\_\_\_. **Dados Técnicos Fronius Eco**. Wels, Áustria, 2015. Disponível em: <[https://www.fronius.com/~/\\_downloads/Solar%20Energy/Datasheets/SE\\_DS\\_Fronius\\_ECO\\_PB.pdf](https://www.fronius.com/~/_downloads/Solar%20Energy/Datasheets/SE_DS_Fronius_ECO_PB.pdf)>. Acesso em: 12 dez. 2019.

\_\_\_\_\_. **Configuração do Monitoramento Datamanager 2.0**: Inversores Galvo/Primo/Symo/Eco. Wels, Áustria, 2019a.

\_\_\_\_\_. **Solar Configurator 4.0**: Planning of photovoltaic systems. Wels, Áustria, 2019b. Disponível em: <<https://fronius.solarconfigurator.de/solar.configurator/Quick>>. Acesso em: 26 dez. 2019.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GLOBAL SOLAR ATLAS. **Data description**. The World Bank Group, 2016. Disponível em: <<https://globalsolaratlas.info/about/data-description>>. Acesso em: 12 jun. 2019.

\_\_\_\_\_. **Download maps for your country or region**. The World Bank Group, 2017. Disponível em: <<https://globalsolaratlas.info/downloads/world>>. Acesso em: 23 mai. 2019.

GOSWAMI, D. Y. **Principles of solar engineering**. 3. ed. Boca Raton, Estados Unidos: Taylor & Francis, 2014.

HINRICHS, R. A. **Energia e meio ambiente**. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

HOUGHTON, J. T.; JENKINS, G. J.; EPHRAUMS, J. J. **Climate Change: The IPCC Scientific Assessment**. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. Disponível em: <[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ipcc\\_far\\_wg\\_I\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ipcc_far_wg_I_full_report.pdf)>. Acesso em: 22 nov. 2019.

IAP [Instituto Ambiental do Paraná]. **Portaria IAP Nº 19 de 06/02/2017**. Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte solar [...]. Curitiba: Diário Oficial do Estado, 2017. Disponível em: <[http://celepar7.pr.gov.br/sia/atosnormativos/form\\_cons\\_ato1.asp?Codigo=3561](http://celepar7.pr.gov.br/sia/atosnormativos/form_cons_ato1.asp?Codigo=3561)>. Acesso em: 23 nov. 2019.



IEA [Agência Internacional de Energia]. **Total primary energy supply by source, World 1990-2017**. Paris, 2019. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics>>. Acesso em: 15 jan. 2020.

INEE [Instituto Nacional de Eficiência Energética]. **O que é Geração Distribuída**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <[http://www.inee.org.br/forum\\_ger\\_distrib.asp?Cat=gd](http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp?Cat=gd)>. Acesso em: 15 nov. 2019.

INMETRO [Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia]. **Portaria n.º 271**, de 02 de junho de 2015. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002263.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2020.

JÄGER, K.; ISABELLA, O.; SMETS, A. H. M.; SWAAIJ, R. A. C. M. M.; ZEMAN, M. **Solar energy: fundamentals, technology, and systems**. Delft, Países Baixos: Delft University of Technology, 2014. 408 p.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PEREIRA, C. D.; BATISTA, J. O. **Casa Eficiente: consumo e geração de energia**. Vol. 2. Florianópolis: UFSC, LabEEE. Florianópolis, 2010. 76p.

LASER FOCUS WORLD. **Photovoltaics: Measuring the 'Sun'**. Endeavor Business Media, 2009. Disponível em: <<https://www.laserfocusworld.com/lasers-sources/article/16566681/photovoltaics-measuring-the-sun>>. Acesso em: 13 out. 2019.

LASNIER, F.; ANG, T. G. **Photovoltaic Engineering Handbook**. Nova Iorque: Adam Hilger, 1990.

LOPEZ, R. A. **Energia solar para produção de eletricidade**. São Paulo: Artliber Editora, 2012.

MALHOTRA, N. K. **Introdução a Pesquisa de Marketing**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

MICHELETTI, D. H. Energia solar fotovoltaica e projeto de microgeração residencial. **Revista Lumière Electric**, São Paulo, n. 234. p. 72-6, out., 2017.

MESSENGER, R. A.; VENTRE, J. **Photovoltaic systems engineering**. Boca Raton, Estados Unidos: Taylor & Francis, 2004.

NARUTO, D. T. **Vantagens e desvantagens da geração distribuída e estudo de caso de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede elétrica**. Monografia de Graduação. Rio de Janeiro: UFRJ, 2017. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10020290.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2019.

OLIVEIRA, C. N. N. **Isenção de IPI para painéis de energia solar fotovoltaica**. In: CAVALCANTE, D. L.; CALIENDO, P. (coord.). Políticas públicas, tributação e energia solar. Curitiba: CRV, 2017. p. 115-32.

OLIVEIRA FILHO, K. S.; SARAIVA, M. F. O. **Astronomia e Astrofísica**. Porto Alegre: UFRGS, 2014.

ONU [Organização das Nações Unidas]. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. UNIC Rio, 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>>. Acesso em: 16 out. 2019.

PARANÁ. **Lei 17.188**, de 13 de Junho de 2012. Institui a Política Estadual de Geração Distribuída com Energias Renováveis – GDER no Estado do Paraná. Curitiba: Diário Oficial do Estado, 2012. Disponível em: <<https://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/listarAtosAno.do?action=exibirImpressao&codAto=69346>>. Acesso em: 25 nov. 2019.

\_\_\_\_\_. **Decreto 11538**, de 05 de Novembro de 2018. Trata sobre a criação do Projeto Smart Energy Paraná [...]. Curitiba: Diário Oficial do Estado, 2018. Disponível em: <<https://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/pesquisarAto.do?action=exibir&codAto=210011&codTipoAto&tipoVisualizacao=alterado>>. Acesso em: 27 nov. 2019.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. (org.). **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL-CRESESB, 2014.

PORTAL ENERGIA. **Energia Fotovoltaica: manual sobre tecnologias, projecto e instalação**. Lisboa, 2019. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf>>. Acesso em: 22 dez. 2019.

RÜTHER, R. **Experiences and operational results of the first grid-connected, building integrated, thin film photovoltaic installation in Brazil**. In: Proceedings of the 2nd World Conference on Photovoltaic Solar Energy Conversion. pp. 2655-2658. Vienna, Áustria. 1998.

RÜTHER, R.; MIGHELÃO, T. R.; HAHN, P. Mercado de geração distribuída fotovoltaica no Brasil. **Fotovolt**, São Paulo, v. 3, n. 17, p. 20-9, jul./ago., 2018.

SANTOS, M. A. **Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa Derivadas de Hidrelétricas**. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: <<http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/masantos.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2019.

SILVA, J. L. S.; CAVALCANTE, M. M.; MACHADO, R.; SILVA, M. R.; DELGADO, D. B. M. **Análise do crescimento da geração distribuída: estudo de caso do brasil com ênfase no estado de Minas Gerais**. Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 10, n. 1, p. 169-83, abr., 2018. Disponível em: <<http://revistas2.uepg.br/index.php/ret/article/download/11984/209209209951>>. Acesso em: 13 jan. 2020.

SOLAR-ENERGIA. **Localização de painéis solares**. 2016. Disponível em: <<https://pt.solar-energia.net/media/fotovoltaica/ubicacion/inclinacion-paneles-solares.png>>. Acesso em: 18 nov. 2019.

SOLAR WEB. **Laticínio Nova Cantu**. Fronius International GmbH, Wels, Áustria, 2020. Disponível em: <<https://www.solarweb.com/Home/GuestLogOn?pvSystemid=c7f1950a-03a4-4eed-a682-6d1690ad7e89>>. Acesso em: 11 jan. 2020.

TIDWELL, J. W.; WEIR, A. D. **Renewable Energy Resources**. Abingdon, Reino Unido: Taylor & Francis Group, 2006.

TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, E. B.; URBANETZ JR, J.; PEREIRA, S. V.; GONCALVES, A. R.; LIMA, F. J. L.; COSTA, R. S.; ALVES, A. R. **Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná**. 1. ed. Curitiba: UTFPR, 2017. Disponível em: <<http://atlassolarparana.com/>>. Acesso em: 20 out. 2019.

TOLMASQUIM, M. T. (org.). **Fontes renováveis de energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência CENERGIA, 2003.

\_\_\_\_\_. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. EPE: Rio de Janeiro, 2016.

UFRGS [Universidade Federal do Rio Grande do Sul]. **Radiasol**. Porto Alegre: Laboratório de Energia Solar, 2001. Disponível em: <<http://www.solar.ufrgs.br/#softwares>>. Acesso em: 24 out. 2019.




ULIANA, I. A. Cabeamento de sistemas solares fotovoltaicos. **Fotovolt**, São Paulo, v. 3, n. 17, p. 50-5, jul./ago., 2018.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Editora Érica, 2012.


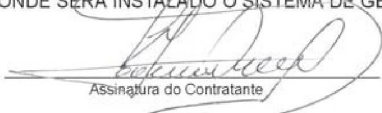

YANG, R. L.; TIEPOLO, G. M.; TONOLO, E. A.; URBANETZ JUNIOR, J.; SOUZA, M. B. **Estimação da temperatura em células fotovoltaicas para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica em Curitiba**. Curitiba, 2018. Disponível em: <[http://labens.ct.utfpr.edu.br/wp-content/uploads/2018/11/Estimacao\\_da\\_temperatura\\_em\\_celulas\\_fotovoltaicas\\_para\\_sistemas\\_fotovoltaicos\\_conectados\\_a\\_rede\\_eletrica\\_em\\_Curitiba\\_VF.pdf](http://labens.ct.utfpr.edu.br/wp-content/uploads/2018/11/Estimacao_da_temperatura_em_celulas_fotovoltaicas_para_sistemas_fotovoltaicos_conectados_a_rede_eletrica_em_Curitiba_VF.pdf)>. Acesso em: 02 jan. 2020.



## APÊNDICE 1 – FORMULÁRIO DE SOLICITAÇÃO DE ACESSO

 <b>COPEL</b> Distribuição	 <b>PARANÁ</b> GOVERNO DO ESTADO	
<b>FORMULÁRIO DE SOLICITAÇÃO DE ACESSO PARA MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA</b>		
<b>1 - Identificação da Unidade Consumidora - UC</b>		
Código da UC: 54347998      Grupo B <input type="checkbox"/> Grupo A <input checked="" type="checkbox"/> Classe: Indust/Fabr de Laticínios		
Titular da UC : E F ARANTES E CIA LTDA ME		
Rua/Av.: ROD PR 239	Nº: KM 01	CEP: 87330-000
Bairro: -	Cidade: NOVA CANTU	
E-mail: laticinio.cantu@bol.com.br		
Telefone: (44) 3527-1514	Celular: (44) 99146-7261	
CNPJ/CPF: 05.466.325/0001-88		
<b>2 - Dados da Unidade Consumidora</b>		
Localização em coordenadas: Latitude: -24.672542      Longitude: -52.579170		
Potência instalada (kW): 220kW (Padrão 3x500A)      Tensão de atendimento (V): 13,8kV - 127/220V		
Tipo de conexão: monofásica <input type="checkbox"/> bifásica <input type="checkbox"/> trifásica <input checked="" type="checkbox"/>		
Transformador particular (kVA): 75 <input type="checkbox"/> 112,5 <input type="checkbox"/> 225 <input type="checkbox"/> outro: 300 kVA		
Tipo de instalação: Posto de transformação <input type="checkbox"/> cabina <input checked="" type="checkbox"/> subestação <input type="checkbox"/>		
Tipo de ligação do transformador: Delta – Estrela: Dyn-1		
Impedância percentual do transformador: 4,5%		
Tipo de ramal: aéreo <input checked="" type="checkbox"/> subterrâneo <input type="checkbox"/>		
<b>3 - Dados da Geração</b>		
Potência instalada de geração (kW): 100 kW (conforme Resolução Normativa nº 676/2015)		
Tipo da Fonte de Geração:		
Hidráulica <input type="checkbox"/> Solar <input checked="" type="checkbox"/> Eólica <input type="checkbox"/> Biomassa <input type="checkbox"/> Cogeração Qualificada <input type="checkbox"/>		
Outra (especificar):		
<b>4 - Documentação a Ser Anexada</b>		
<input checked="" type="checkbox"/> 1. ART do Responsável Técnico pelo projeto elétrico e instalação do sistema de minigeração		
<input checked="" type="checkbox"/> 2. Projeto elétrico das instalações de conexão, memorial descritivo		
<input checked="" type="checkbox"/> 3. Estágio atual do empreendimento, cronograma de implantação e expansão		
<input checked="" type="checkbox"/> 4. Diagrama unifilar e de blocos do sistema de geração, carga e proteção		
<input checked="" type="checkbox"/> 5. Certificado de conformidade do(s) inversor(es) ou número de registro da concessão do Inmetro do(s) inversor(es) para a tensão nominal de conexão com a rede.		
<input checked="" type="checkbox"/> 6. Dados necessários ao registro da central geradora conforme disponível no site da ANEEL: <a href="http://www.aneel.gov.br/scq">www.aneel.gov.br/scq</a>		
<input type="checkbox"/> 7. Lista de unidades consumidoras participantes do sistema de compensação (se houver) indicando a porcentagem de rateio dos créditos e o enquadramento conforme incisos VI a VIII do art. 2º da Resolução Normativa nº 482/2012		
<input type="checkbox"/> 8. Cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes (se houver)		
<input type="checkbox"/> 9. Documento que comprove o reconhecimento, pela ANEEL, da cogeração qualificada (se houver)		
<b>5 - Contato na Distribuidora (preenchido pela Distribuidora)</b>		
Responsável/Área:		
Endereço:		
Telefone:		
E-mail:		
<b>6 - Solicitante</b>		
Nome/Procurador Legal: FRANCISCO SABINO ARANTES		
Telefone: (44) 99146-7261		
E-mail: rfaticinio.cantu@bol.com.br		
<b>Nova Cantu</b>	<b>04 / 06 / 2019</b>	
Local	Data	Assinatura do Responsável

## APÊNDICE 2 – ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA CREA-PR

	<b>CREA-PR</b> Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Paraná Anotação de Responsabilidade Técnica Lei Fed 6496/77 Valorize sua Profissão: Mantenha os Projetos na Obra			<b>ART Nº 20192454254</b> Obra ou Serviço Técnico ART Principal	
	<b>1ª VIA - PROFISSIONAL</b>				
<b>O valor de R\$ 85,96 referente a esta ART foi pago em 28/05/2019 com a guia nº 100020192454254</b>					
Profissional Contratado: <b>DANILO HUNGARO MICHELETTI</b> (CPF:083.159.359-84) Nº Carteira: PR-165146/D - Nº Visto Crea: -					
Título Formação Prof.: <b>ENGENHEIRO ELETRICISTA</b>					
Empresa contratada: <b>MICHELETTI &amp; MICHELETTI LTDA</b>			Nº Registro: 67605		
Contratante: <b>E F ARANTES E CIA LTDA ME</b>			CPF/CNPJ: 05.466.325/0001-88		
Endereço: ROD PR 239 KM 01 - CEP: 87330000 NOVA CANTU PR Fone: (44) 3527-1514					
Local da Obra/Serviço: ROD PR 239 KM 01 - NOVA CANTU PR			Quadra: CEP: 87330000	Lote:	
Latitude: -24,672278 Longitude: -52,579432					
Tipo de Contrato	4	PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS	Dimensão	100 KW	
Ativ. Técnica	2	ESTUDO, PLANEJAMENTO, PROJETO, ESPECIFICAÇÕES			
Área de Comp.	2101	GERAÇÃO DE ENERGIA			
Tipo Obra/Serv	626	ENERGIAS ALTERNATIVAS ( SOLAR / EÓLICA / ETC )			
Serviços contratados	035	PROJETO			
	050	EXECUÇÃO			
	097	SERVIÇOS DE INSTALAÇÃO			
	112	INSPEÇÕES			
			Dados Compl.	0	
			Data Início	10/06/2019	
			Data Conclusão	30/09/2019	
Vir Obra	R\$ 410.000,00	Vir Contrato	R\$ 2.000,00	Vir Taxa	R\$ 85,96
Base de cálculo: TABELA VALOR DE CONTRATO					
Outras Informações sobre a natureza dos serviços contratados, dimensões, ARTs vinculadas, ARTs substituídas, contratantes, etc					
PROJETO DE MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA, UNIDADE CONSUMIDORA: 54347998 / CLASSE DE CONSUMO 127-220V - GRUPO A - TRIFÁSICO.					
PROJETO E EXECUÇÃO DO ACESSO A MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA, TIPO DE FONTE SOLAR FOTOVOLTAICA - SISTEMA CONTENDO 370 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DE 335Wp CADA, INVERSORES TOTALIZANDO 100KW.					
NÃO FAZ PARTE DO ESCOPO DESTA ART A VERIFICAÇÃO POR ENGENHEIRO CIVIL CAPACITADO DA ESTRUTURA ONDE SERÁ INSTALADO O SISTEMA DE GERAÇÃO SOLAR.					
 Assinatura do Contratante		 Assinatura do Profissional			
<b>1ª VIA - PROFISSIONAL</b> Destina-se ao arquivo do Profissional/Empresa. Central de Informações do CREA-PR 0800 041 0067 A autenticação deste documento poderá ser consultada através do site <a href="http://www.crea-pr.org.br">www.crea-pr.org.br</a>					
<b>"CLÁUSULA COMPROMISSÓRIA:</b> As partes, livremente e de comum acordo, decidem que qualquer conflito ou litígio originado do presente contrato, inclusive no tocante à sua interpretação ou execução, será definitivamente resolvido por arbitragem, de acordo com as Leis 9.307 de 23 de setembro de 1996 e 13.129 de 26 de maio de 2015, por meio da Câmara de Mediação e Arbitragem do Crea-PR, localizada à Rua Dr. Zamenhof, 35, Alto da Glória, Curitiba, Paraná, e em conformidade com o Regulamento. Ao optarem pela inserção da presente cláusula neste contrato, as partes declaram conhecer o referido Regulamento e concordar, em especial e expressamente, com os seus termos."					
 Contratante/Proprietário		 Profissional Responsável			
Para a adesão à Arbitragem, as assinaturas das partes são obrigatórias.					

### APÊNDICE 3 – CRONOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO E EXPANSÃO

#### CRONOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO E EXPANSÃO

##### Projeto de Minigeração Distribuída – Energia Solar Fotovoltaica

O projeto será realizado na UC: 54347998, sob a titularidade de E. F. ARANTES E CIA LTDA ME, com CNPJ 05.466.325/0001-88. Situada à ROD PR 239 - KM 01, na cidade de NOVA CANTU, CEP 87330-000.

Atividade	Descrição
T1	Negociação e contratação
T2	Estudo de campo inicial
T3	Emissão da Anotação de Responsabilidade Técnica (ART)
T4	Análise elétrica
T5	Análise estrutural
T6	Desenvolvimento dos itens do projeto
T7	Conclusão e coleta das assinaturas do projeto
T8	Envio do projeto no sistema PEW/COPEL
T9	Aquisição e transporte do material elétrico e equipamentos
T10	Recebimento e organização do equipamento
T11	Aprovação do projeto junto a Copel
T12	Cabeamento e instalação dos inversores
T13	Instalação dos módulos fotovoltaicos
T14	Instalação das proteções e conexão à rede interna da UC
T15	Configuração dos inversores e da conexão à internet
T16	Elaboração e envio do pedido de vistoria
T17	Realização da vistoria e efetivação do sistema

CRONOGRAMA																
Atividade	MAIO				JUNHO				JULHO				AGOSTO			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
T1	x															
T2		x														
T3			x													
T4			x	x												
T5				x												
T6				x	x	x	x									
T7							x									
T8								x								
T9								x	x							
T10									x	x						
T11											x					
T12											x	x				
T13											x	x				
T14												x	x			
T15													x			
T16													x			
T17														x	x	

LEGENDA: T – ATIVIDADE DESENVOLVIDA; S – SEMANA DO MÊS.

  
E. F. ARANTES E CIA LTDA  
CNPJ 05.466.325/0001-88

  
DANILO H. MICHELETTI  
Engenheiro Eletricista  
CREA-PR-165.146/D



## APÊNDICE 4 – MEMORIAL DESCRITIVO

# PROJETO SFVCR

## Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

*Memorial descritivo e memória de cálculo*

PROJETO: FVPR2019DN053  
MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA  
EDIFICAÇÃO INDUSTRIAL  
E. F. ARANTES E CIA LTDA  
NOVA CANTU, PR

**1. Identificação do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCVR)****1.1. Unidade Consumidora**

- Concessionária: COPEL-DIS
- Unidade Consumidora: 54347998 | Classe de consumo: Grupo A
- Tensão Nominal: 127-220V | Disjuntor: 3X800 A
- Alimentação: Trifásico 13,8KV | Transformador: WEG 300KVA

**1.2. Titular da unidade consumidora**

- Razão Social: E. F. ARANTES E CIA LTDA
- CNPJ: 05.466.325/0001-88
- Representante: Francisco Sabino Arantes
- CPF: 326.966.719-15 | RG: 1.781.398
- Email: laticinio.cantu@bol.com.br
- Telefone: (44) 3527-1514 | (44) 99146-7261

**1.3. Localização do Sistema**

- Logradouro: ROD PR 239 - KM 01
- Município: Nova Cantu - PR
- CEP: 87330-000
- Coordenadas: -24.6722783, -52.5794325

**1.4. Características do gerador fotovoltaico**

- Módulos Fotovoltaicos:
  - Arranjo Fotovoltaico: 375 Módulos de silício policristalino 72 células
  - Fabricante e Modelo: Canadian CS6U-330P
  - Potência nominal: 330 Wp
  - Potência nominal do arranjo fotovoltaico: 123,75 kWp
- Inversor Fotovoltaico:
  - Quantidade: 4 Inversores Trifásicos
  - Fabricante e Modelo: Fronius Eco 25.0-3-S
  - Potência nominal total de saída: 100,0 kW

**1.5. Plantas constantes no Projeto Fotovoltaico**

- 01/02 – Diagrama Unifilar do Sistema de Geração e de Conexão à Rede;
- 02/02 – Diagrama de Blocos do Sistema de Geração, Carga e Proteção;

## 2. Identificação da Empresa Executora

### MAGYAR ENGENHARIA

- CNPJ: 14.044.151/0001-56
- Logradouro: Rua 31 de Março, 584
- Bairro: Centro
- Município: Marechal Cândido Rondon - PR
- CEP: 85960-000
- Telefone: (45) 2031-2500
- Email: contato@magyarenharia.com
- Engenheiro Projetista e Responsável Técnico: Danilo H. Micheletti
- Nº ART Projeto e Execução: **20192454254**

## 3. Características do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

Os equipamentos serão dispostos conforme recomendado pelo fabricante do inversor e pela concessionária, de acordo com as exigências das normas atuais. Serão utilizados equipamentos de segurança como: chave seccionadora, dispositivo de proteção contra surtos e disjuntores termomagnéticos.

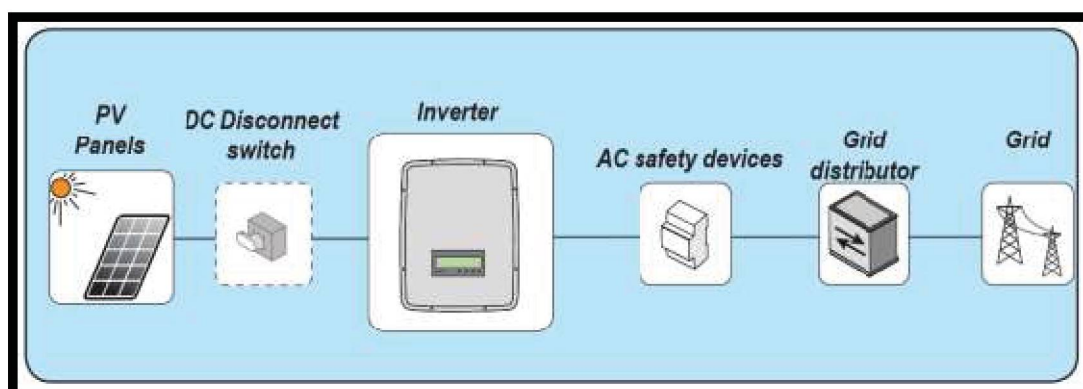


FIGURA 1 – CONFIGURAÇÃO SEQUENCIAL DOS EQUIPAMENTOS.

Os inversores serão alocados em ambiente coberto e ventilado. Serão instalados conforme as recomendações do fabricante, respeitando as distâncias mínimas e posicionamento adequado. Os quadros de proteção CC e de conexão CA serão alocados próximos aos inversores, mantendo também distâncias mínimas para ventilação. Este projeto enquadra-se na Inexigibilidade de Licença Ambiental, ou seja, não é exigido documento de licença ambiental para empreendimentos fotovoltaicos instalados sobre telhados existentes, conforme a Portaria IAP nº 19 de 06/02/2017.



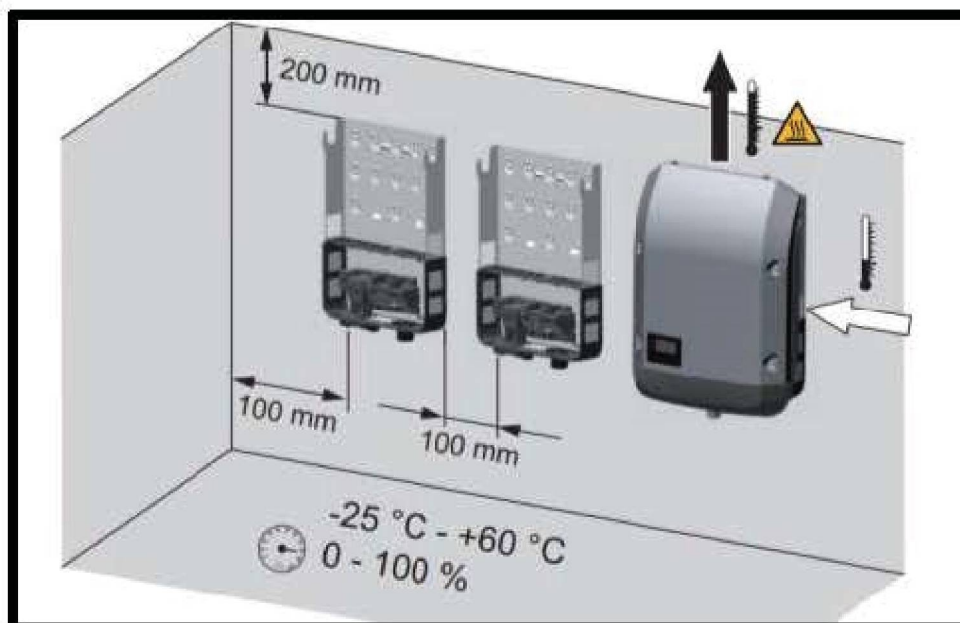


FIGURA 2 – RECOMENDAÇÕES DE POSICIONAMENTO DO INVERSOR.

Serão 4 inversores de 25kW que receberão 90, 100, 95 e 90 módulos distribuídos em 5 strings, um total de 29,7kWp, 33,0kWp, 31,35kWp e 29,7kWp, respectivamente. Os módulos serão instalados conforme orientação técnica, distribuídos nas águas dos telhados disponíveis de 140° e 320° de Azimute, com aproximadamente 14° de inclinação (25% de declividade). Cada conjunto de módulos será conectado por strings separadamente, protegidas diretamente no inversor com os dispositivos modulares.

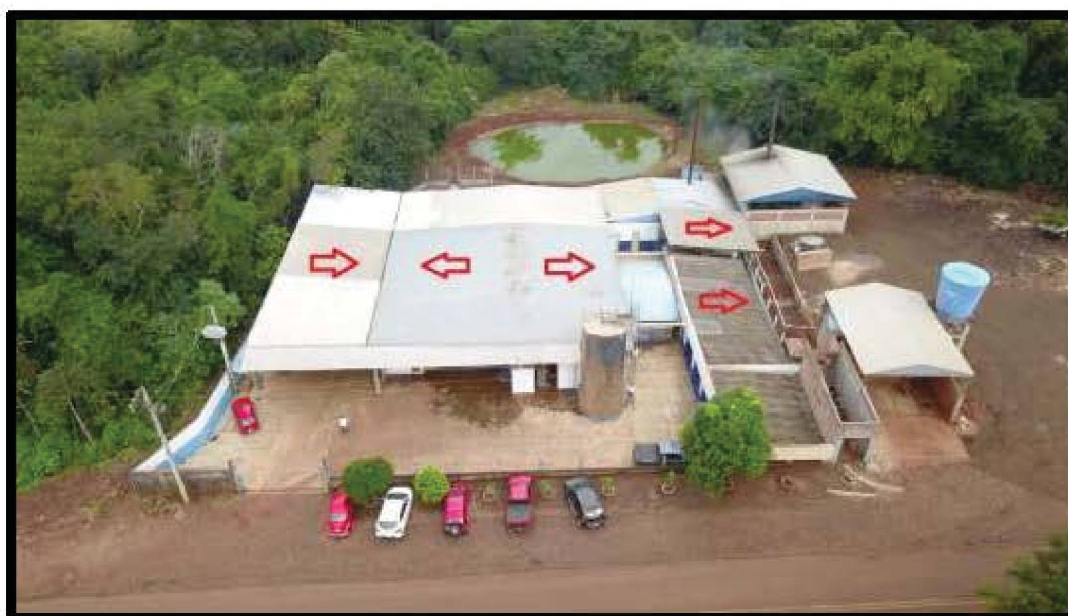


FIGURA 3 – ORIENTAÇÃO DO TELHADO.

## 4. Dimensionamento do Circuito CC

### 4.1. Conexão

Os módulos estão conectados em série, portanto a corrente CC máxima de cada string é a corrente de curto circuito que, de acordo com o fabricante, é de 9,45 A. O inversor receberá um total de 5 strings em suas entradas, definindo a corrente de curto circuito máxima possível de 47,25 A. O inversor permite entrada de corrente de curto circuito de até 66,3 A.

### 4.2. Chave Seccionadora

- O inversor possui uma chave seccionadora eletrônica integrada para desconectar a tensão CC da sua entrada.

### 4.3. Cabeamento CC

Serão utilizados cabos flexíveis para interligar os módulos conectados em série com o inversor:

- Isolação dupla para 1,8KV com proteção UV;
- Comprimento máximo de 30m;
- Admite-se queda de tensão máxima de 1%;
- Condutores de cobre, resistividade  $\rho(\sim 28^{\circ}\text{C}) = 0,0178 \text{ } \Omega\text{mm}^2/\text{m}$ ;
- Corrente de operação ótima (mp): 1x 8,88A;
- Menor tensão de operação ótima (mp): 18x 37,2V;
- Cálculo da seção em função da **queda de tensão**, em condições normais ótimas de funcionamento:

$$S_{condCC} \geq \frac{2 * 40(m) * 8,79(A_{mp}) * 0,0178 \left( \frac{\Omega\text{mm}^2}{m} \right)}{0,01 * (18 * 37,2)(V_{mp})} \geq 1,87 \text{ mm}^2$$

- Baseando-se na norma vigente, a seção adotada em CC será de **4 mm<sup>2</sup>**.

### 4.4. Dispositivo de Proteção Contra Surtos (DPS)

O inversor conta com dispositivos modulares de DPS de Classe II - CC nos condutores positivo e negativo de cada string:

- Corrente máxima de descarga (onda 8/20  $\mu\text{s}$ ) igual a 40kA;
- Corrente nominal de descarga (onda 8/20  $\mu\text{s}$ ) igual a 20kA;
- Nível de proteção de 3,8kV.

## 5. Dimensionamento do Circuito CA

### 5.1. Conexão

As saídas estrela trifásica 380 V de cada dois inversores serão conectadas a um autotransformador estrela-estrela 380/220 V de 65 kVA para compatibilização com a rede local, utilizando proteção adequada.

### 5.2. Cabeamento CA

Para conectar a saída de cada dois inversores de 25 kW à rede elétrica mais próxima do local de instalação, serão utilizados cabos flexíveis com:

- HEPR 90° e isolamento para 1 kV;
- Comprimento máximo de 30 m;
- Admite-se queda de tensão máxima de 1%;
- Condutores de cobre, resistividade  $\rho(\sim 28^\circ\text{C}) = 0,0178 \, \Omega\text{mm}^2/\text{m}$ .
- Tensão entre as fases da rede: 220V;
- Corrente máxima de saída dos inversores após transformador:

$$I_{CAmax} = \frac{50000(W)}{3 \cdot 127(V)} = \frac{50000(W)}{\sqrt{3} \cdot 220(V)} = 131,2 \, A$$

- Cálculo da seção em função da queda de tensão, em funcionamento máximo:

$$S_{CAmin} \geq \frac{2 \cdot 30(m) \cdot 131,2(A) \cdot 0,0178 \left( \frac{\Omega\text{mm}^2}{m} \right)}{0,01 \cdot 220(V)} \geq 58,83 \, \text{mm}^2$$

- Baseando-se na norma vigente, a seção adotada será de **70 mm<sup>2</sup>** em cada inversor, para maior segurança da edificação e menor queda de tensão.

### 5.3. Disjuntor

A corrente máxima de saída CA do inversor após o transformador é de 131,2 A para a tensão de 220 V entre as fases. Será instalado um disjuntor termomagnético **trifásico de 175 A** para seccionamento e proteção dos condutores CA, antes da conexão à rede. O condutor de 70 mm<sup>2</sup> HEPR permite a passagem de até 179 A (A1).

### 5.4. Dispositivo de Proteção Contra Surtos (DPS)

O inversor conta com dispositivo modular de DPS de Classe III – CA. Também será utilizado DPS de Classe II - CA nos condutores das três fases da rede:

- Corrente máxima de descarga igual a 45kA;
- Corrente nominal de descarga igual a 20kA;
- Nível de proteção maior que 1,4kV.



## 6. Sistema de Aterramento

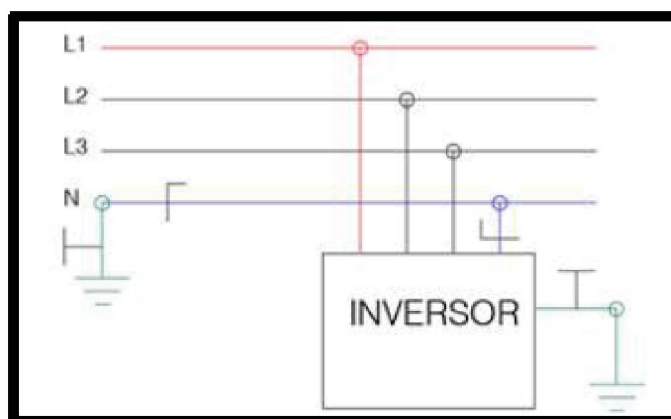


FIGURA 4 – ESQUEMA SIMPLIFICADO DO SISTEMA DE ATERRAMENTO COM TERRA E NEUTRO SEPARADOS (TT).

O sistema de aterramento utilizado no sistema de geração será o de Terra e Neutro Separados (TN-S). O sistema de aterramento do sistema fotovoltaico será composto por hastes de aço galvanizado com revestimento de cobre com diâmetro de 1,5 cm e comprimento de 240 cm, que serão totalmente enterradas para assim manter a resistência de aterramento inferior a 3 ohms em qualquer época do ano conforme as normas NBR 6148 e NBR 5410. O cabeamento de aterramento será de seção compatível com o cabeamento de fase adotados, conforme norma vigente.

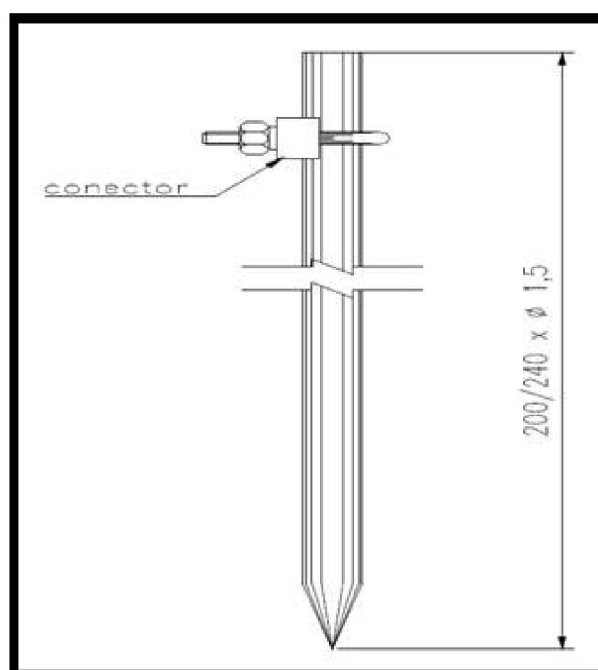


FIGURA 5 – ELETRODO PADRÃO DE ATERRAMENTO.

## 7. Instalações de Conexão à Rede e Adequações no Padrão de Entrada

O sistema foi projetado conforme diagrama orientativo da norma NTC905200 Revisão Outubro/2018, disponibilizado pela concessionária. A conexão se enquadra como minigeração de 100kW, nos padrões de entrada atendidos em 13,8kV.

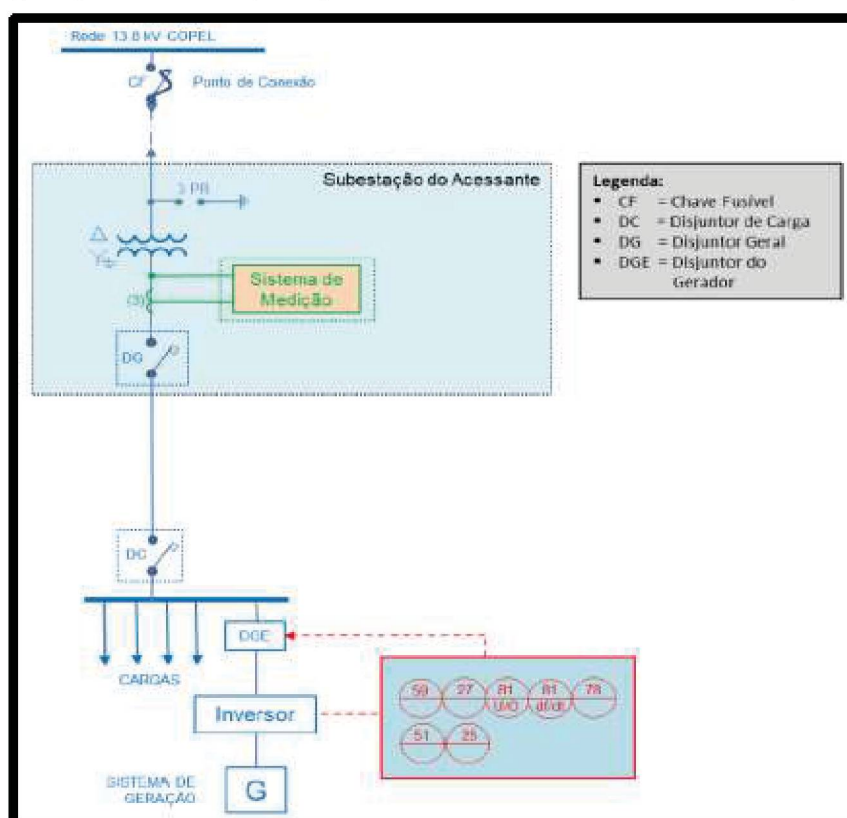


FIGURA 6 – MINIGERAÇÃO ATENDIDA EM 13,8 KV, ACIMA DE 75 KW ATÉ 300 KW, GERAÇÃO COM O USO DE INVERSORES.

Junto ao padrão de entrada será instalada, por meio de rebites ou parafusos auto brocantes, uma placa de advertência conforme modelo e localização constantes na NTC 905200, item 5.4. A placa de alumínio terá espessura mínima de 1 mm e dimensões 210 x 100mm, conforme com o modelo apresentado a seguir:



FIGURA 7 – PLACA DE ADVERTÊNCIA PARA MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA - COPEL.

### 8. Sistema de fixação e suporte ao SFVCR

O sistema de fixação e suporte ao sistema fotovoltaico será constituído por:

- Perfis de alumínio para sustentação dos módulos;
- Grampos terminais/laterais;
- Grampos intermediários;
- Ganchos ou parafusos prisioneiros para fixação dos perfis sobre o telhado, distribuídos de modo a manter melhor estabilidade do arranjo.



FIGURA 8 – ESQUEMA SIMPLIFICADO DA FIXAÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS COM PERFIS DE ALUMÍNIO.

Nova Cantu, 27 de junho de 2019.

PROPRIETÁRIO

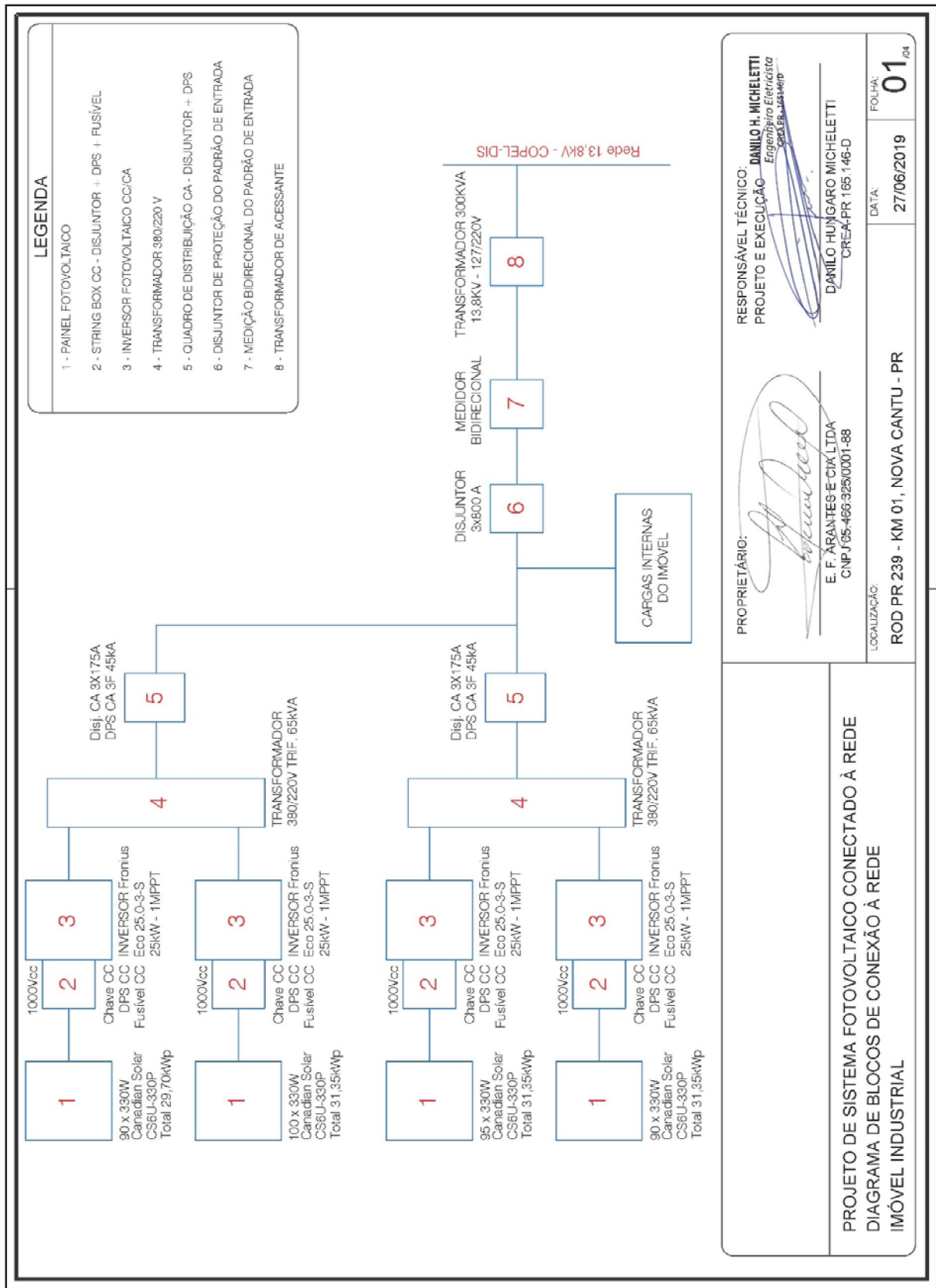
  
E. F. ARANTES E CIA LTDA  
CNPJ 05.466.325/0001-88

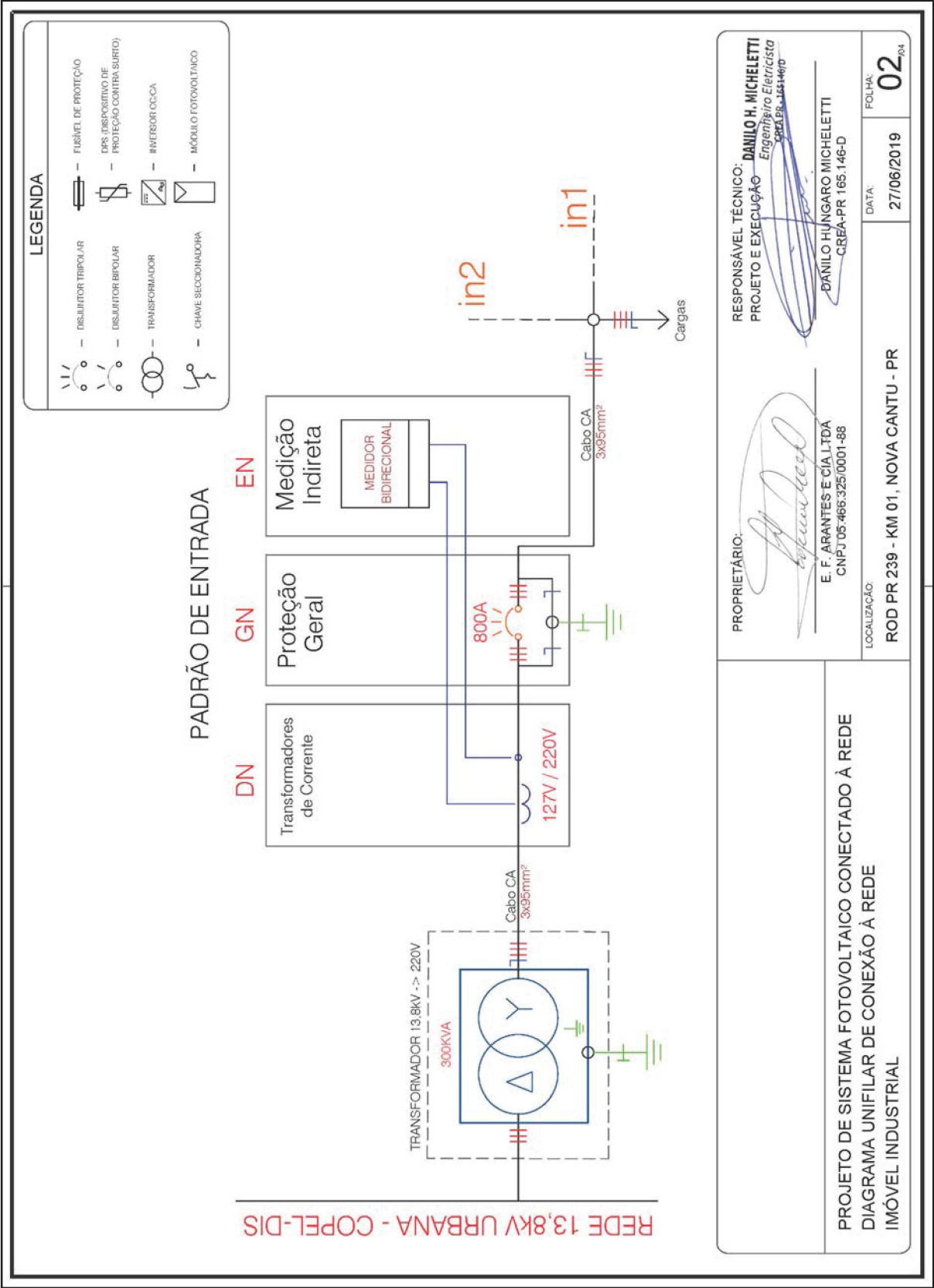
RESPONSÁVEL TÉCNICO  
PROJETO E EXECUÇÃO

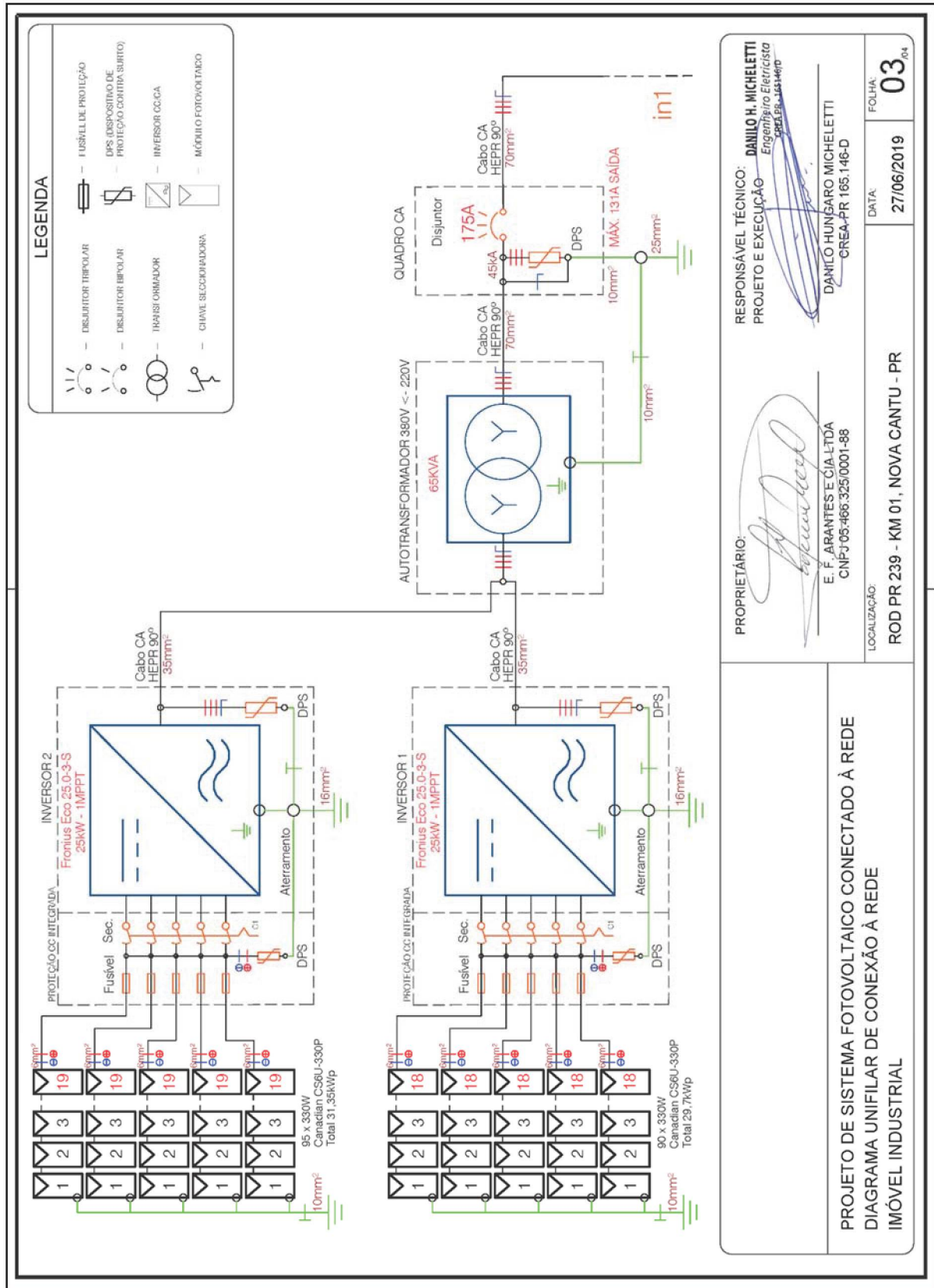
  
DANILO H. MICHELETTI  
Engenheiro Eletricista  
CREA-PR-165.146/D  
DANILO H. MICHELETTI  
CREA-PR 165.146-D



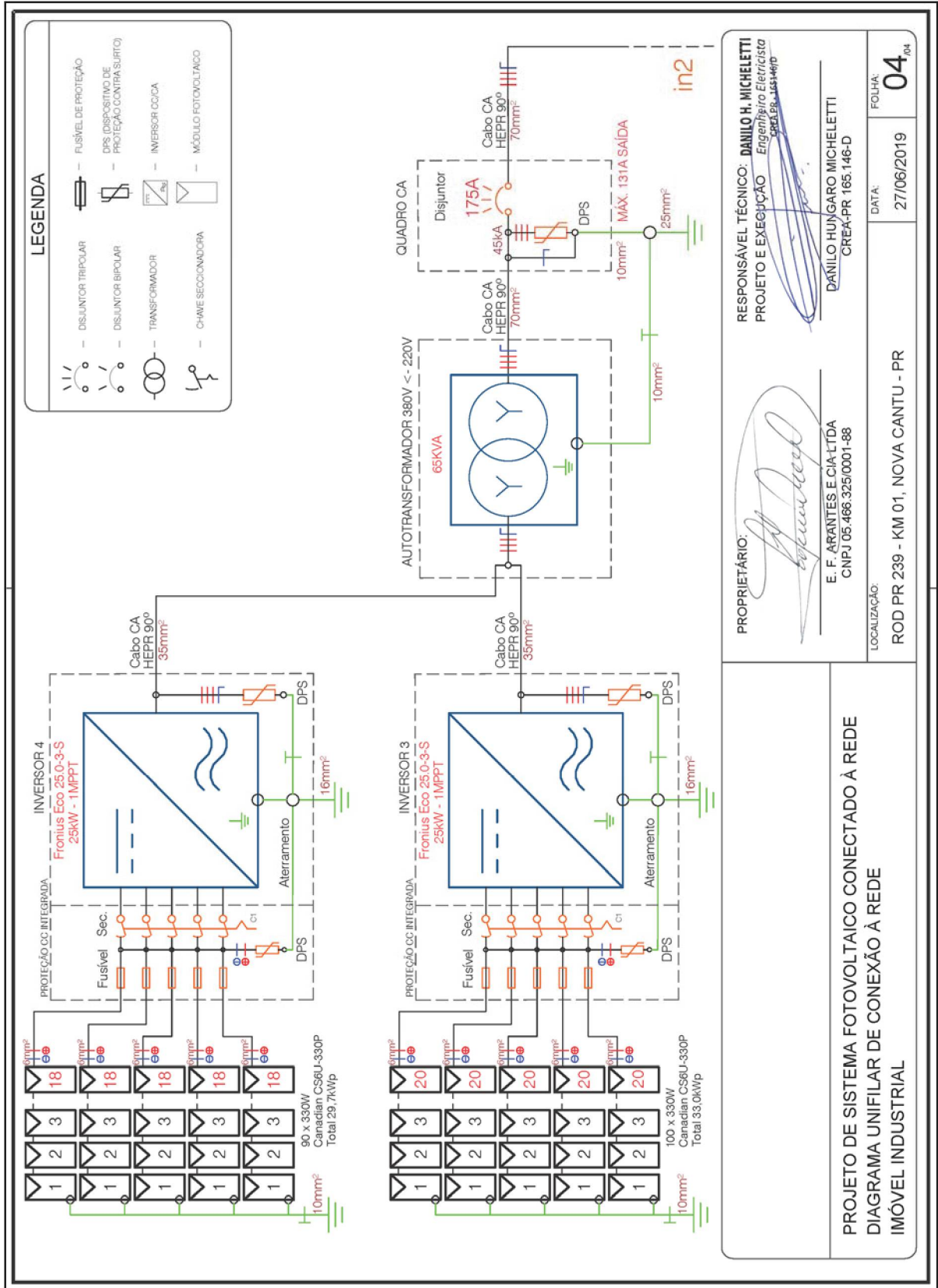
## APÊNDICE 5 – DIAGRAMA DE BLOCOS E UNIFILAR











## APÊNDICE 6 – DADOS PARA REGISTRO NA ANEEL

Dados para Aneel			
nº UC	Titular	Classe	Grupo
54347998	E. F. ARANTES E CIA LTDA	Industrial/Fábrica de Laticínios	A

Tensão de Conexão(kV)	CNPJ/CPF	Endereço	CEP	Município
13,8	326.966.719-15	ROD PR 239 - KM 01	87330-000	NOVA CANTU

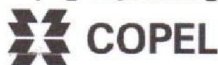
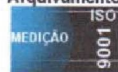
UF	Telefone	E-mail	Qtde Módulos	Fabricante Módulos	Área dos Arranjos (m2)
PR	(44) 99146-7261	laticinio.cantu@bol.com.br	375	Canadian	760

Qtde Inversores	Fabricante do Inversor	Potência Módulos (kWp)	Potência Inversores (kWp)	Data da conexão
4	Fronius	125,40	100,0	

## APÊNDICE 7 – CHECKLIST PARA SOLICITAR VISTORIA

Tempo de Retenção: Até a conclusão da ligação no CIS pelo COM.  
Arquivamento: S:\Projeto\_Mediação\XXX\04\_Em Execução\PE\_XXX\_XX

Após Retenção: Excluir arquivo.  
Versão: 21/05/2018



Nº Projeto: 06556/2019

### CHECK LIST MINI OU MICROGERAÇÃO

Prezado Responsável Técnico,

Favor verificar todos os itens relacionados abaixo (marcar cada item conferido), assinar e encaminhar cópia digitalizada para o e-mail [medicao.vistoria@copel.com](mailto:medicao.vistoria@copel.com), juntamente com as fotos solicitadas.

Nome Responsável pela obra: **DANILO HUNGARO MICHELETTI**

CREA-PR: **PR-165146/D**

Nº ART da Obra (código 050 execução): 20192454254

Telefone: **(44) 98421-3237**

Assinatura: \_\_\_\_\_

**DANILO H. MICHELETTI**  
Engenheiro Eletricista  
CREA PR - 165146/D

Obs: Sem a documentação solicitada, este documento preenchido e as fotos não será possível dar continuidade a solicitação de agendamento da sua vistoria.

No email encaminhado, no campo assunto deverá conter: o número do projeto elétrico; a cidade da obra e a descrição do conteúdo, como no exemplo abaixo:

"PE NNN/AA – Cidade - Solicitação de vistoria – Microgeração"

"PE NNNNN/AAAA – Cidade - Solicitação de vistoria – Microgeração" (quando aprovado no PEW)

### 1. DOCUMENTAÇÃO

a. ART de execução das instalações elétricas emitida por responsável técnico habilitado no CREA.

Obs: Nos formulários de Solicitação de Acesso, consta: **ART do Responsável Técnico pelo projeto elétrico e instalação do sistema de minigeração.**

Consta no Manual de ART do PEW: **Para os casos de microgeração a ART deverá ter o código 626 – Energias Alternativas (caso o responsável técnico seja o responsável pela instalação deve constar o código 97 – Serviços de Instalação).**

b. Enviar o número da UC e número de projeto de aprovação. (lembrando que o a validade do projeto é 120 dias)

### 2. FOTOS:

As fotos deverão ser enviadas para o e-mail [medicao.vistoria@copel.com](mailto:medicao.vistoria@copel.com) com boa nitidez, em formato PDF e/ou compactada/zipada.

a. Do Quadro ou caixa do medidor com placa de advertência: "Cuidado, geração distribuída";

b. Foto do número de série do inversor aprovado em projeto e do local instalado;

c. ~~Caso houver medição indireta enviar foto da instalação dos TC's na caixa padrão;~~ \*\*

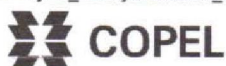
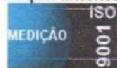
d. Local da caixa do medidor (se o acesso a leitura é possível);

e. Posição na via pública em que o "leiturista" executa a leitura;



Tempo de Retenção: Até a conclusão da ligação no CIS pelo COM.  
Arquivamento: S:\Projeto\_Medicao\XXX\04\_Em Execução\PE\_XXX\_xx

Após Retenção: Excluir arquivo.  
Versão: 21/05/2018



Nº Projeto: 06556/2019

- f. número predial;
- g. Fachada da residência mostrando o acesso a medição (caso seja apartamento ou a medição estiver em algum QM, mostrar apenas o acesso ao QM);
- h. Fotos painéis instalados e seus respectivos números de série.

**Para um atendimento preciso, favor verificar os seguintes itens da Entrada de Serviço (responsabilidade do executor):**

### 3. ITENS DE ATERRAMENTO:

- a. Aterrar eletrodutos metálicos, caixas de passagem e todas as partes móveis não energizadas.

### 5. ITENS DAS CAIXAS

~~a. Os TC's foram instalados com a polaridade correta. (P1 ou S1 fonte, P2 ou S2 sentido carga); \* Ver nota no item 2D, para MED em AT. \*\*~~

~~b. Existe sobreposição de terminais no barramento dos TC's. NÃO sobrepor, optar por barramento auxiliar de mesma ampacidade do disjuntor; \*\*~~

- c. Instalar placa de identificação "GERAL" na caixa do disjuntor geral.

### 6. ITENS PLACAS DE ADVERTÊNCIA

- a. Instalar placas de advertência do tipo "Cuidado Geração distribuída", nas tampa da caixa de medição;
- b. Todas as placas devem ser confeccionadas em material durável (metal, policarbonato, etc. - Não acrílico) e firmemente parafusadas ou rebitadas na caixa de medição.

**\*\* Obs: Conforme orientação dos técnicos regionais da Copel de Umuarama, Toledo e Campo Mourão, os TCs não deverão ser previamente instalados.**

**DANILO H. MICHELETTI**  
Engenheiro Eletricista  
CREA PR - 165146/D

## ANEXO 1 – CERTIFICAÇÃO DOS INVERSORES

# CERTIFICATE

of Conformity



Registration No.: AK 60103579 0001

Report No.: 28108154 001

**Holder:** Fronius International GmbH  
Guenter Fronius-Str. 1  
4600 Wels - Thalheim  
Austria

**Product:** PV-Inverter  
Photovoltaic Grid Tied Inverter

**Identification:** Trademark: FRONIUS  
Model: FRONIUS ECO FRONIUS ECO 27.0-3-S  
FRONIUS ECO FRONIUS ECO 25.0-3-S

**Tested acc. to:** IEC 61727:2004

The certificate of conformity refers to the above mentioned product. This is to certify that the specimen is in conformity with the assessment requirement mentioned above. This certificate does not imply assessment of the production of the product and does not permit the use of a TÜV Rheinland mark of conformity.


Date 04.08.2015

Certification Body



TÜV Rheinland LGA Products GmbH - Tillystraße 2 - 90431 Nürnberg

## ANEXO 2 – RELATÓRIO DE VISTORIA COPEL

 <b>COPEL</b> Distribuição	<b>RELATÓRIO DE VISTORIA</b> CONEXÃO DE MICRO E MINIGERAÇÃO FOTOVOLTAICA
--	---

**VIA CLIENTE**

**1) DADOS DA UNIDADE CONSUMIDORA / GERADORA:**

Nome: E. P. ADANTES UC: 54347998  
 Endereço: ROD PR 239 Município: NOVA CAMARGO  
 Atividade: INDUSTRIAL Tensão de Conexão: 127/220 Disjuntor Geral: 3 X 600

**2) CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE GERAÇÃO:**

**2.1) Características das Placas (Módulos):**

Arranjo	Placas por Arranjo	Fabricante(s) das Placas	Área do Arranjo (m²)	Potência Total das Placas do Arranjo (kWp)
1	375	CANADIAN CS6U-330P	750	123,7
2				
3				

**2.2) Características dos Inversores:**

Arranjo	Fabricante(s) dos Inversores	Modelo(s) dos Inversores	Potência do Inversor (kWp)	Nº série do Inversor
1	FRONIUS	ECO 25.0-3.5	25.0	2950 6771
2	FRONIUS	ECO 25.0-3.5	25.0	3000 9257
3	FRONIUS	ECO 25.0-3.5	25.0	2941 2942
4	FRONIUS	ECO 25.0-3.5	25.0	2938 0949

**3) DADOS DOS MEDIDORES E TCs (se houver) INSTALADO(S):**

**Medidor Instalado:**

NIO: 0031606050 Marca: LANDIS GYR Modelo: 3681  
 Leituras: Cód. 003: 7815.45 kWh Consumido  
 Cód. 103: 000.02 kWh Fornecido  
 Nº Lacre(s) Medidor: MAY 5697880 MAY 5697881  
 Nº Lacre Caixa de Medição: 9-0325726  
 Nº Telemedição: 33704234  
 TC de Medição Instalados: BRW 6-16282231224  
 NIO (fase A): 0345124042 Marca: KRON Modelo: KR 801 R  
 NIO (fase B): 0345124043 Marca: KRON Modelo: KR 801 R  
 NIO (fase C): 0345124041 Marca: KRON Modelo: KR 801 R  
 Corrente Nominal: 800/5 FT: 2.0 Nº Lacre Caixa dos TCs: 9-0325727/728

**Medidor Retirado:**

NIO: MANTIDO Leitura: MANTIDO





**COPEL**  
Distribuição

## RELATÓRIO DE VISTORIA

CONEXÃO DE MICRO E MINIGERAÇÃO FOTOVOLTAICA

VIA CLIENTE

### 4) DADOS DA ENTRADA DE SERVIÇO:

Placa de Advertência Instalada Corretamente na Entrada de Serviço? ☒ SIM ( ) NÃO  
Condições de Acesso da COPEL à Entrada de Serviço está OK? ☒ SIM ( ) NÃO

### 5) DADOS DA VISTORIA NO SISTEMA DE GERAÇÃO (INVERSOR):

Ponto de Conexão do Inversor está de Acordo com a NTC 905200? ☒ SIM ( ) NÃO  
Teste de Desconexão do Inversor OK? (proteção anti-ilhamento) ☒ SIM ( ) NÃO

#### Medições de Tensão na ENTRADA DE SERVIÇO:

Tensão Medida com o Inversor Desconectado - FF: 222, 225, 224 V FN: 128, 130, 131 V

OBS.: Desligar a proteção geral do(s) Inversor(es) apenas, e efetuar a medição de tensão na Entrada de Serviço.

Tensão Medida com o Inversor Conectado - FF: 220, 223, 226 V FN: 127, 129, 130 V

OBS.: Religar a proteção geral do Inversor, e efetuar a medição de tensão na Entrada de Serviço com o Inversor em operação.

Outras pendências verificadas na vistoria:

VISTORIA APROVADA ☒ SIM ( ) NÃO

Em caso de alguma pendência verificada, ocasionando a reprova da vistoria, nova solicitação deverá ser realizada assim que estas pendências forem sanadas.

#### RESPONSÁVEL PELA VISTORIA

Nome: MARCELO E ROGERIO

Registro: 48963 / 25204



## ANEXO 3 – FATURAS DE ENERGIA DO TRIMESTRE CONSIDERADO

página 1 / 2



**COPEL**

Copel Distribuição S.A.  
José Izidoro Biazetto, 158 bl.C - Mossunguê - Curitiba PR - CEP 81200-240  
CNPJ: 04.368.898/0001-06- IE 90.233.073-99 - IM 423.992-4

[www.copel.com](http://www.copel.com)  
**0800 643 75 75**

**E F ARANTES E CIA LTDA**  
**ROD PR 239 - KM01 PE 522 13**  
**NOVA CANTU - NOVA CANTU - PR - CEP: 87330-000**

85652 01 005 411000  
 CNPJ 05.466.325/0001-88 - IE: 9027694559

**Mês de Referência**  
**Outubro/2019**

**VENCIMENTO**  
**14/11/2019**

**Unidade Consumidora**  
**54347998**

**VALOR A PAGAR**  
**R\$ 7.895,79**

FAT-01-20198348364760-40

**Valores Faturados**

**NOTA FISCAL/CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA Nº 102.995.943 - SÉRIE B**

**Emitida em 21/10/2019**

Produto Descrição	Un.	Grandezas Faturadas	Valor Unitário	Valor Total	Base de Cálculo	Aliq. ICMS
ENERGIA ELETRICA TE PONTA	kWh	1000,00	0,664480	664,48	664,48	29,00
ENERGIA ELETRICA USD PONTA	kWh	1000,00	1,313100	1.313,10	1.313,10	29,00
ENERGIA ELETRICA TE F PONTA	kWh	5845,00	0,398737	2.330,62	2.330,62	29,00
ENERGIA ELETRICA USD F PONTA	kWh	5845,00	0,122604	716,62	716,62	29,00
ENERGIA TRIBUT DIF FP TE	kWh	3604,00	0,259498	935,23	0,00	0,00
ENERGIA TRIBUT DIF FP TUSD	kWh	3604,00	0,112378	405,01	405,01	29,00
ENERGIA REAT EXCED TE F PONTA	kWh	1662,00	0,420872	699,49	699,49	29,00
DEMANDA USD	kW	78,72	21,127795	1.663,18	1.663,18	29,00
DEMANDA USD ISENTA ICMS	kW	11,28	14,615248	164,86	0,00	0,00
ENERGIA CONS. B.AMARELA	kWh			116,73	116,73	29,00
ENERGIA CONS. B.VERMELHA	kWh			109,26	109,26	29,00
ENERGIA TRIB DIF BAND AM	kWh			37,84	0,00	0,00
ENERGIA TRIB DIF BAND VM P1	kWh			43,24	0,00	0,00
AJUSTE ICMS DEC EST10171-18-COMP FAT ANT			92,160000	-92,16	-92,16	29,00
SDO AJUSTE ICMS DEC10171-COMP FAT ANT				92,16		
COMP CONS MICRO/MINI GERACAO	kWh	3604,00		-1.303,87		

Base de Cálculo do ICMS  
7.926,33

Valor ICMS  
2.233,20

Valor Total da Nota Fiscal  
7.895,79

Reservado ao Fisco: A6AD.3723.FF2B.BFF4.047B.4D34.E42C.6674

O montante da devolução é resultado da multiplicação do CONSUMO COMPENSADO pela mini/microgeração (PONTA 0 kWh, FPONTA 3604 kWh e INTERMEDIÁRIO 0 kWh) pela tarifa proporcionalizada, quando for o caso.  
 Unidade consumidora cadastrada como Micro/MiniGeradora - ReN Aneel 482/12  
 Energia Injetada no mês, na RD Copel, pela Mini/MicroGeração.Fora Ponta: 3604 kWh.  
 INCLUSO NA FATURA PIS R\$82,44 E COFINS R\$378,03 CONFORME RES. ANEEL 130/2005.  
 FATURA DO MES 09/2019 ARRECADADA POR DEBITO AUTOMATICO  
 GERENTE DA AGENCIA COPEL DE SUA REGIAO: ALEXANDRE ZULIM  
 Agora é possível recorrer à Ouvidoria da Copel pelo Site ou Mobile.  
 DENUNCIE O FURTO DE FIOS! LIGUE 181.  
 A qualquer tempo pode ser solicitado o cancelamento de valores não relacionados à prestação do serviço de energia elétrica, como convênios e doações.  
 Atraso superior a 45dias sujeita inclusão no cadastro de inadimplentes CADIN/PR  
 Periodos Band.Tarif.: Vermelha P1:22/09-30/09 Amarela:01/10-21/10

**IDENTIFICAÇÃO**  
54347998

Vencimento  
14/11/2019

Mês  
10/2019

Valor a Pagar  
7.895,79


**COPEL**

 Copel Distribuição S.A.  
 José Izidoro Brazetto, 158 bl.C - Mossunguê - Curitiba PR - CEP 81200-240  
 CNPJ: 04.368.898/0001-06- IE 90.233.073-99 - IM 423.992-4

página 1 /

www.copel.com

0800 643 75 75

 E F ARANTES E CIA LTDA  
 ROD PR 239 - KM01 PE 522 13  
 NOVA CANTU - NOVA CANTU - PR - CEP: 87330-000

 85652 01 005 411000  
 CNPJ 05.466.325/0001-88 - IE: 9027694559

Mês de Referência

**Outubro/2019**

Unidade Consumidora

**54347998**

VENCIMENTO

**14/11/2019**

VALOR A PAGAR

**R\$ 7.895,79**

FAT-01-20198348364760-40

Emitida em 23/10/2019

**EXTRATO DE FATURAMENTO - TARIFA HORARIA VERDE**
**Informações Técnicas**

 Mês/Ano Consumo/Usado do Sistema: 10/2019  
 Data de Emissão: 21/10/2019  
 Data Real Leit Atual: 21/10/2019  
 Data Real Leit Anterior: 21/09/2019  
 Data Provável Prox Leitura: 21/11/2019  
 Indust/Fabr de Laticínios  
 Perdas de Transformação: 2.5%  
 Rel. Transform. Corrente: 800/5  
 Rel. Transform. Potencial: 000000/000

EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO			
SAG 1681HD	kW	kWh	kvarh
Medidor	0031606050	0031606050	0031606050
Constante	0.19200	0.04800	0.04800
Constante Excedente Reativo kWh/kVh			0.04800

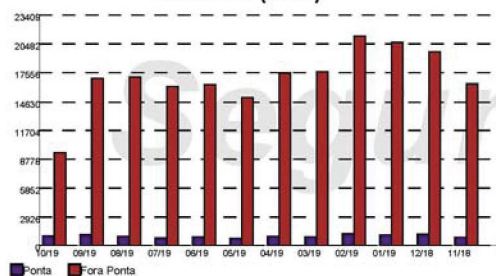
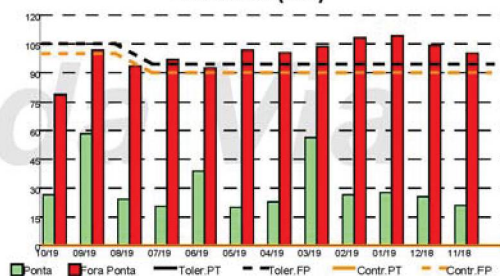
**Grandezas e Valores para Faturamento**

Produto	Leitura Anterior	Leitura Atual	Medido	Contratado	Faturado	Tarifa	Total
ENERGIA ELETRICA TE PONTA	1293962	1314296	1000,00		1000,00	0,664480	664,48
ENERGIA ELETRICA USD PONTA	1293962	1314296	1000,00		1000,00	1,313100	1.313,10
ENERGIA ELETRICA TE F PONTA	24835946	25028001	9449,00		5845,00	0,398737	2.330,62
ENERGIA ELETRICA USD F PONTA	24835946	25028001	9449,00		5845,00	0,122604	716,62
ENERGIA TRIBUT DIF FP TE					3604,00	0,259498	935,23
ENERGIA TRIBUT DIF FP TUSD					3604,00	0,112378	405,01
ENERGIA REAT EXCED TE F PONTA	1376777	1410576	1662,00		1662,00	0,420872	699,49
DEMANDA USD	517	400	78,72	100,00	78,72	21,127795	1.663,18
DEMANDA USD ISENTA ICMS					11,28	14,615248	164,86
ENERGIA CONS. B AMARELA							116,73
ENERGIA CONS. B VERMELHA							109,26
ENERGIA TRIB DIF BAND AM							37,84
ENERGIA TRIB DIF BAND VM P1							43,24
ENERGIA ELETRICA CONSUMO	26129908	26342297	10449,00				
ENERGIA REAT EXC PONTA	87974	87974	0,00				
ENERGIA GERADA/INJETADA FORA P	14449	91469	3604,00				
ENER. REAT. INDUTIVA	11485470	11586151	4953,00				
AJUSTE ICMS DEC EST 10171-18-COMP FAT ANT					-1,00	92,160000	-92,16


**DENUNCIE O FURTO DE FIOS! LIGUE 181.**
**Informações Suplementares**

 Tarifas  
 CONSUMO F PONTA 0,339290  
 CONSUMO PTA 1,287010  
 DEMANDA 13,750000

 Tensão Contratada: 13200 volts  
 Limite Adequado de Tensão: 12260 a 13860 volts

**Histórico de Consumo e Pagamentos**
**Consumo (kWh)**

**Demanda (kW)**


Mês/Ano	Valor da Fatura	Data de Vencimento	Data de Pagamento	Consumo Ponta	Consumo Fora Pta.	Demanda Ponta	Demanda Fora Pta.	Dem. Cont. Ponta	Dem. Cont. Fora Pta.	Dem. Tol. Ponta	Dem. Tol. Fora Pta.
10/2019	7.895,79	14/11/2019	14/11/2019	1000	9449	26,56	78,72	0	100	0	105
09/2019	14.329,19	14/10/2019	14/10/2019	1139	16974	58,25	101,74	0	100	0	105
08/2019	13.746,39	14/09/2019	16/09/2019	958	17128	24,2	93,48	0	90	0	94,5
07/2019	12.757,63	14/08/2019	14/08/2019	803	16158	20,46	96,82	0	90	0	94,5
06/2019	12.478,85	14/07/2019	15/07/2019	881	16346	38,76	92,49	0	90	0	94,5
05/2019	12.446,97	14/06/2019	14/06/2019	758	15100	20,07	101,74	0	90	0	94,5
04/2019	13.819,77	14/05/2019	14/05/2019	961	17529	22,82	100,36	0	90	0	94,5
03/2019	14.062,95	14/04/2019	15/04/2019	927	17660	56,28	103,51	0	90	0	94,5
02/2019	17.106,19	14/03/2019	14/03/2019	1235	21281	26,56	108,24	0	90	0	94,5
01/2019	16.827,32	14/02/2019	14/02/2019	1095	20633	27,74	109,22	0	90	0	94,5
12/2018	16.482,06	14/01/2019	14/01/2019	1178	19696	25,58	104,3	0	90	0	94,5
11/2018	14.233,62	14/12/2018	14/12/2018	885	16418	21,05	100,17	0	90	0	94,5

 <b>COPEL</b> Copel Distribuição S.A. José Izidoro Biazetto, 158 bl.C - Mossungué - Curitiba PR - CEP 81200-240 CNPJ: 04.368.898/0001-06 - IE 90.233.073-99 - IM 423.992-4		página 1 / 2 www.copel.com 0800 643 75 75				
<b>E F ARANTES E CIA LTDA</b> ROD PR 239 - KM01 PE 522 13 NOVA CANTU - NOVA CANTU - PR - CEP: 87330-000 85652 01 005 411000 CNPJ 05.466.325/0001-88 - IE: 9027694559		Mês de Referência <b>Novembro/2019</b>	Unidade Consumidora <b>54347998</b>			
		VENCIMENTO <b>14/12/2019</b>	VALOR A PAGAR <b>R\$ 8.382,33</b>			
FAT-01-20198497031368-3						
<b>Valores Faturados</b> <b>NOTA FISCAL/CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA Nº 108.237.823 - SÉRIE B</b> Emitida em 22/11/2019						
Produto Descrição	Un.	Grandezas Faturadas	Valor Unitário	Valor Total	Base de Cálculo	Aliq. ICMS
ENERGIA ELETRICA TE PONTA	kVh	1285,00	0,660903	849,26	849,26	29,00
ENERGIA ELETRICA USD PONTA	kVh	1285,00	1,306008	1.678,22	1.678,22	29,00
ENERGIA ELETRICA TE F PONTA	kVh	5538,00	0,396593	2.196,33	2.196,33	29,00
ENERGIA ELETRICA USD F PONTA	kVh	5538,00	0,121941	675,31	675,31	29,00
ENERGIA TRIBUT DIF FP TE	kVh	3806,00	0,259498	987,65	0,00	0,00
ENERGIA TRIBUT DIF FP TUSD	kVh	3806,00	0,112380	427,72	427,72	29,00
ENERGIA REAT EXCED TE F PONTA	kVh	1717,00	0,418614	718,76	718,76	29,00
DEMANDA USD	kW	77,53	21,013930	1.629,21	1.629,21	29,00
DEMANDA USD ISENTA ICMS	kW	12,47	14,561347	181,58	0,00	0,00
ENERGIA CONS. B.AMARELA	kVh			59,06	59,06	29,00
ENERGIA CONS. B.VERMELHA	kVh			270,56	270,56	29,00
ENERGIA TRIB DIF BAND AM	kVh			18,41	0,00	0,00
ENERGIA TRIB DIF BAND VM P1	kVh			107,48	0,00	0,00
COMP CONS MICRO/MINI GERACAO	kVh	3806,00		-1.417,22		
Base de Cálculo do ICMS		Valor ICMS		Valor Total da Nota Fiscal		
8.504,43		2.466,29		8.382,33		
Reservado ao Fisco: B12E.BB18.F9B1.20DA.761C.C734.6B95.0C53						
O montante da devolução é resultado da multiplicação do CONSUMO COMPENSADO pela mini/microgeração (PONTA 0 kWh, FPONTA 3806 kWh e INTERMEDIÁRIO 0 kWh) pela tarifa proporcionalizada, quando for o caso. Unidade consumidora cadastrada como Micro/MiniGeradora - ReN Aneel 482/12 Energia Injetada no mês, na RD Copel, pela Mini/MicroGeração.Fora Ponta: 3806 kWh. INCLUSO NA FATURA PIS R\$82,50 E COFINS R\$377,29 CONFORME RES. ANEEL 130/2005. FATURA DO MES 10/2019 ARRECADADA POR DEBITO AUTOMATICO GERENTE DA AGENCIA COPEL DE SUA REGIAO: ALEXANDRE ZULIM A qualquer tempo pode ser solicitado o cancelamento de valores não relacionados à prestação do serviço de energia elétrica, como convênios e doações. AJUDE A PREVENIR A DENGUE. NÃO DEIXE ÁGUA PARADA. Atraso superior a 45dias sujeita inclusão no cadastro de inadimplentes CADIN/PR DENUNCIE O FURTO DE FIOS! LIGUE 181. A PARTIR DE 01/11/2019 - PIS/PASEP 0,97% e COFINS 4,43%. Agora é possível recorrer à Ouvidoria da Copel pelo Site ou Mobile. Períodos Band.Tarif.: Amarela:22/10-31/10 Vermelha P1:01/11-21/11						
IDENTIFICAÇÃO		Mês				
54347998		11/2019				
Vencimento		Valor a Pagar				
14/12/2019		8.382,33				




**COPEL**

 Copel Distribuição S.A.  
 José Izidoro Biazetto, 158 bl.C - Mossunguá - Curitiba PR - CEP 81200-240  
 CNPJ: 04.368.898/0001-06 - IE 90.233.073-99 - IM 423.992-4

página 1 /

[www.copel.com](http://www.copel.com)

0800 643 75 75

 E F ARANTES E CIA LTDA  
 ROD PR 239 - KM01 PE 522 13  
 NOVA CANTU - NOVA CANTU - PR - CEP: 87330-000

 85652 01 005 411000  
 CNPJ 05.466.325/0001-88 - IE: 9027694559

 Mês de Referência  
**Novembro/2019**

 Unidade Consumidora  
**54347998**

 VENCIMENTO  
**14/12/2019**

 VALOR A PAGAR  
**R\$ 8.382,33**

FAT-01-20198497031368-3

Emitida em 25/11/2019

**EXTRATO DE FATURAMENTO - TARIFA HORARIA VERDE**
**Informações Técnicas**

 Mês/Ano Consumo/Usado do Sistema: 11/2019  
 Data de Emissão: 22/11/2019  
 Data Real Leit Atual: 21/11/2019  
 Data Real Leit Anterior: 21/10/2019  
 Data Provável Prox Leitura: 21/12/2019  
 Indust/Fabr de Laticínios  
 Perdas de Transformação: 2.5%  
 Rel. Transform. Corrente: 800/5  
 Rel. Transform. Potencial: 000000/000

EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO			
SAG 1681HD	kW	kVh	kvarh
Medidor	0031606050	0031606050	0031606050
Constante	0.19200	0.04800	0.04800
Constante Excedente Reativo	kW/kVh		0.04800

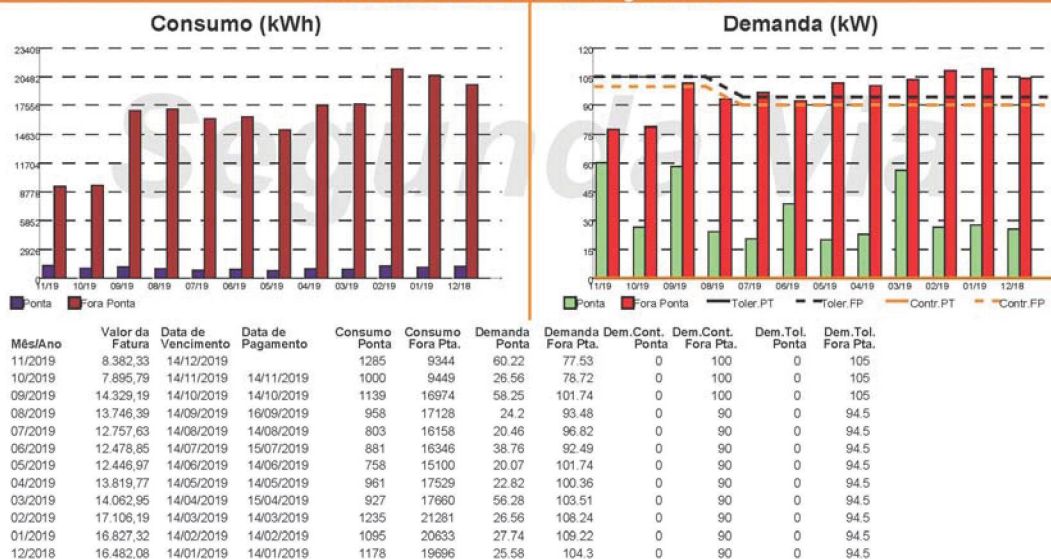
**Grandezas e Valores para Faturamento**


Produto	Leitura Anterior	Leitura Atual	Medido	Contratado	Faturado	Tarifa	Total
ENERGIA ELETRICA TE PONTA	1314296	1340430	1285,00		1285,00	0,660903	849,26
ENERGIA ELETRICA USD PONTA	1314296	1340430	1285,00		1285,00	1,306008	1.678,22
ENERGIA ELETRICA TE F PONTA	25028001	25217935	9344,00		5538,00	0,396593	2.196,33
ENERGIA ELETRICA USD F PONTA	25028001	25217935	9344,00		5538,00	0,121941	675,31
ENERGIA TRIBUT DIF FP TE					3806,00	0,259498	987,65
ENERGIA TRIBUT DIF FP TUSD					3806,00	0,112380	427,72
ENERGIA REAT EXCED TE F PONTA	1410576	1445486	1717,00		1717,00	0,418614	718,76
DEMANDA USD	400	394	77,53	100,00	77,53	21,013930	1.629,21
DEMANDA USD ISENTA ICMS					12,47	14,561347	181,58
ENERGIA CONS. B. AMARELA							59,06
ENERGIA CONS. B. VERMELHA							270,56
ENERGIA TRIB DIF BAND AM							18,41
ENERGIA TRIB DIF BAND VM P1							107,48
ENERGIA ELETRICA CONSUMO	26342297	26558365	10630,00				
ENERGIA REAT EXC PONTA	87974	87974	0,00				
ENERGIA GERADA/INJETADA FORA P	91469	172794	3806,00				
ENER. REAT. INDUTIVA	11586151	11687812	5001,00				

**DENUNCIE O FURTO DE FIOS! LIGUE 181.**
**Informações Suplementares**

 Tarifas  
 CONSUMO F PONTA 0,339290  
 CONSUMO PTA 1,287010  
 DEMANDA 13,750000

 Tensão Contratada: 13200 volts  
 Limite Adequado de Tensão: 12280 a 13860 volts

**Histórico de Consumo e Pagamentos**




**COPEL**

Copel Distribuição S.A.  
José Izidoro Biazetto, 158 bl.C - Mossunguê - Curitiba PR - CEP 81200-240  
CNPJ: 04.368.898/0001-06- IE 90.233.073-99 - IM 423.992-4

página 1 / 2

[www.copel.com](http://www.copel.com)  
**0800 643 75 75**

**E F ARANTES E CIA LTDA**  
 ROD PR 239 - KM01 PE 522 13  
 NOVA CANTU - NOVA CANTU - PR - CEP: 87330-000

85652 01 005 411000  
 CNPJ 05.466.325/0001-88 - IE: 9027694559

**Mês de Referência**  
**Dezembro/2019**

**VENCIMENTO**  
**14/01/2020**

**Unidade Consumidora**  
**54347998**

**VALOR A PAGAR**  
**R\$ 9.739,53**

FAT-01-20198647853379-86

**Valores Faturados**

**NOTA FISCAL/CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA Nº 113.533.712 - SÉRIE B**

Emitida em 27/12/2019

Produto Descrição	Un.	Grandezas Faturadas	Valor Unitário	Valor Total	Base de Cálculo	Aliq. ICMS
ENERGIA ELETRICA TE PONTA	kVh	1153,00	0,661188	762,35	762,35	29,00
ENERGIA ELETRICA USD PONTA	kVh	1153,00	1,306574	1.506,48	1.506,48	29,00
ENERGIA ELETRICA TE F PONTA	kVh	8182,00	0,396764	3.246,32	3.246,32	29,00
ENERGIA ELETRICA USD F PONTA	kVh	8182,00	0,121996	998,17	998,17	29,00
ENERGIA TRIBUT DIF FP TE	kVh	3148,00	0,259498	816,90	0,00	0,00
ENERGIA TRIBUT DIF FP TUSD	kVh	3148,00	0,112376	353,76	353,76	29,00
ENERGIA REAT EXCED TE F PONTA	kVh	1945,00	0,418797	814,56	814,56	29,00
DEMANDA USD	kW	83,24	21,023066	1.749,96	1.749,96	29,00
DEMANDA USD ISENTA ICMS	kW	16,76	14,565632	244,12	0,00	0,00
ENERGIA CONS. B.AMARELA	kVh			133,04	133,04	29,00
ENERGIA CONS. B.VERMELHA	kVh			181,94	181,94	29,00
ENERGIA TRIB DIF BAND AM	kVh			29,59	0,00	0,00
ENERGIA TRIB DIF BAND VM P1	kVh			39,37	0,00	0,00
COMP CONS MICRO/MINI GERACAO	kVh	3148,00		-1.137,03		

Base de Cálculo do ICMS
9.746,58

Valor ICMS
2.826,50

Valor Total da Nota Fiscal
9.739,53

Reservado ao Fisco: 14A8.451F.98C1.41D8.12F6.F485.A086.24CA

O montante da devolução é resultado da multiplicação do CONSUMO COMPENSADO pela mini/microgeração (PONTA 0 kWh, FPONTA 3148 kWh e INTERMEDIÁRIO 0 kWh) pela tarifa proporcionalizada, quando for o caso.  
 Unidade consumidora cadastrada como Micro/MiniGeradora - ReN Aneel 482/12  
 Energia Injetada no mês, na RD Copel, pela Mini/MicroGeração.Forá Ponto: 3148 kWh.  
 INCLUSO NA FATURA PIS R\$96,86 E COFINS R\$442,44 CONFORME RES. ANEEL 130/2005.  
 FATURA DO MES 11/2019 ARRECADADA POR DEBITO AUTOMATICO  
 GERENTE DA AGENCIA COPEL DE SUA REGIAO: ALEXANDRE ZULIM  
 A qualquer tempo pode ser solicitado o cancelamento de valores não relacionados à prestação do serviço de energia elétrica, como convênios e doações.  
 AJUDE A PREVENIR A DENGUE. NÃO DEIXE ÁGUA PARADA.  
 Atraso superior a 45dias sujeita inclusão no cadastro de inadimplentes CADIN/PR  
 DENUNCIE O FURTO DE FIOS! LIGUE 181.  
 A PARTIR DE 01/12/2019 - PIS/PASEP 1,02% e COFINS 4,66%.  
 Agora é possível recorrer à Ouvidoria da Copel pelo Site ou Mobile.  
 Periodos Band.Tarif.: Vermelha P1:22/11-30/11 Amarela:01/12-21/12

IDENTIFICAÇÃO  
54347998

Vencimento  
14/01/2020

Mês  
12/2019

Valor a Pagar  
9.739,53




**COPEL**

 Copel Distribuição S.A.  
 José Izidoro Brazetto, 158 bl.C - Mossunguê - Curitiba PR - CEP 81200-240  
 CNPJ: 04.368.898/0001-06- IE 90.233.073-99 - IM 423.992-4

página 1 /

[www.copel.com](http://www.copel.com)

0800 643 75 75

**E F ARANTES E CIA LTDA**  
 ROD PR 239 - KM01 PE 522 13  
 NOVA CANTU - NOVA CANTU - PR - CEP: 87330-000

 85652 01 005 411000  
 CNPJ 05.466.325/0001-88 - IE: 9027694559

**Mês de Referência**
**Dezembro/2019**
**Unidade Consumidora**
**54347998**
**VENCIMENTO**
**14/01/2020**
**VALOR A PAGAR**
**R\$ 9.739,53**

FAT-01-20198647853379-86

Emitida em 24/12/2019

**EXTRATO DE FATURAMENTO - TARIFA HORARIA VERDE**
**Informações Técnicas**

 Mês/Ano Consumo/Use do Sistema: 12/2019  
 Data de Emissão: 27/12/2019  
 Data Real Leit Atual: 21/12/2019  
 Data Real Leit Anterior: 21/11/2019  
 Data Provável Prox Leitura: 21/01/2020  
 Indust/Fabr de Laticínios  
 Perdas de Transformação: 2.5%  
 Rel. Transform. Corrente: 800/5  
 Rel. Transform. Potencial: 000000/000

EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO			
SAG 1681HD	kW	kVh	kvarh
Medidor	0031606050	0031606050	0031606050
Constante	0.19200	0.04800	0.04800
Constante Excedente Reativo	kVh/kVh		0.04800

**Grandezas e Valores para Faturamento**

Produto	Leitura Anterior	Leitura Atual	Medido	Contratado	Faturado	Tarifa	Total
ENERGIA ELETRICA TE PONTA	1340430	1363883	1153,00		1153,00	0,661188	762,35
ENERGIA ELETRICA USD PONTA	1340430	1363883	1153,00		1153,00	1,306574	1.506,48
ENERGIA ELETRICA TE F PONTA	25217935	25448235	11330,00		8182,00	0,396764	3.246,32
ENERGIA ELETRICA USD F PONTA	25217935	25448235	11330,00		8182,00	0,121996	998,17
ENERGIA TRIBUT DIF FP TE					3148,00	0,259498	816,90
ENERGIA TRIBUT DIF FP TUSD					3148,00	0,112376	353,76
ENERGIA REAT EXCED TE F PONTA	1445486	1485022	1945,00		1945,00	0,418797	814,56
DEMANDA USD	394	423	83,24	100,00	83,24	21,023066	1.749,96
DEMANDA USD ISENTA ICMS					16,76	14,565632	244,12
ENERGIA CONS. B AMARELA							133,04
ENERGIA CONS. B VERMELHA							181,94
ENERGIA TRIB DIF BAND AM							29,59
ENERGIA TRIB DIF BAND VM P1							39,37
ENERGIA ELETRICA CONSUMO	26558365	26812118	12484,00				
ENERGIA REAT EXC PONTA	87974	87974	0,00				
ENERGIA GERADA/INJETADA PONTA	0	3	0,00				
ENERGIA GERADA/INJETADA FORA P	172794	240075	3148,00				
ENER REAT INDUTIVA	11687812	11817100	6360,00				

**DENUNCIE O FURTO DE FIOS! LIGUE 181.**
**Informações Suplementares**

 Tarifas  
 CONSUMO F PONTA 0,339290  
 CONSUMO PTA 1,287010  
 DEMANDA 13,750000

 Tensão Contratada: 13200 volts  
 Limite Adequado de Tensão: 12260 a 13860 volts

**Histórico de Consumo e Pagamentos**
